

**Aus dem Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde**

(Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. R. Frankenberger)

des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg

in Zusammenarbeit mit dem Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH  
Standort Marburg

---

**Reproduzierbarkeit, Sensitivität und Spezifität des  
„International Caries Detection and Assessment System  
(ICDAS-II)“ zur Diagnose der Okklusalkaries  
-Eine in-vitro Studie**

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin

dem Fachbereich Medizin  
der Philipps-Universität Marburg  
vorgelegt von

**Gülay Gerek-Al Masri**

aus Erbach i. Odw.

Marburg, 2015

Angenommen vom Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg am: 30.07.2015

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs.

Dekan: Herr Prof. Dr. H. Schäfer

Referentin: Frau Prof. Dr. A. Jablonski-Momeni

Korreferent: Herr Prof. Dr. M. Gente

Originaldokument gespeichert auf dem Publikationsserver der  
Philipps-Universität Marburg  
<http://archiv.ub.uni-marburg.de>



Dieses Werk bzw. Inhalt steht unter einer  
Creative Commons  
Namensnennung  
Keine kommerzielle Nutzung  
Weitergabe unter gleichen Bedingungen  
3.0 Deutschland Lizenz.

Die vollständige Lizenz finden Sie unter:  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/de/>

## Inhaltsverzeichnis

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| <b>1</b>   | <b>Einleitung</b>   | <b>1</b>  |
| <b>2</b>   | <b>Literaturübersicht</b>   | <b>2</b>  |
| <b>2.1</b> | <b>Fissuren- und Grübchenkaries</b>   | <b>2</b>  |
| 2.1.1      | Ätiologie der Zahnkaries  | 2         |
| 2.1.2      | Histologie der Zahnkaries   | 3         |
| 2.1.3      | Besonderheiten der Fissuren und Grübchen  | 5         |
| 2.1.4      | Epidemiologie   | 6         |
| <b>2.2</b> | <b>Methoden zur Diagnose der Okklusalkaries</b>   | <b>7</b>  |
| 2.2.1      | Die visuelle und visuell-taktile Kariesdiagnose   | 8         |
| 2.2.2      | Röntgenologische Kariesdiagnose   | 15        |
| 2.2.3      | Faseroptische Transillumination   | 17        |
| 2.2.4      | Elektrische Widerstandsmessung  | 19        |
| 2.2.5      | Kariesdiagnose mittels Laserfluoreszenz   | 21        |
| 2.2.6      | Quantitative lichtinduzierte Fluoreszenz (QLF)  | 23        |
| 2.2.7      | Intraorale Fluoreszenzkamerasysteme   | 24        |
| 2.2.8      | Histologische Untersuchung von Zahnhartschnitten als Goldstandard in der Kariesdiagnose | 26        |
| <b>3</b>   | <b>Zielsetzung und Fragestellung</b>  | <b>28</b> |
| <b>4</b>   | <b>Material und Methode</b>   | <b>29</b> |
| <b>4.1</b> | <b>Versuchsdesign</b>   | <b>29</b> |
| <b>4.2</b> | <b>Material</b>   | <b>30</b> |
| 4.2.1      | Auswahl der Zähne   | 30        |
| 4.2.2      | Kodierung der Zähne   | 30        |

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| <b>4.3</b> | <b>Methode</b>   | <b>31</b> |
| 4.3.1      | Untersucher  | 31        |
| 4.3.2      | Untersuchertraining  | 31        |
| 4.3.3      | Visuelle Untersuchungen  | 32        |
| 4.3.4      | Untersuchung der analogen Röntgenaufnahmen   | 33        |
| 4.3.5      | Untersuchung der digitalen Röntgenaufnahmen  | 34        |
| 4.3.6      | Histologische Untersuchung   | 35        |
| <b>4.4</b> | <b>Dokumentation</b>   | <b>39</b> |
| <b>4.5</b> | <b>Statistische Auswertung</b>   | <b>39</b> |
| 4.5.1      | Cohens-Kappa ( $\kappa$ )- Koeffizient   | 40        |
| 4.5.2      | Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman  | 40        |
| 4.5.3      | Sensitivität und Spezifität  | 41        |
| <b>5</b>   | <b>Ergebnisse</b>  | <b>43</b> |
| <b>5.1</b> | <b>Inter-Untersucher Reproduzierbarkeit der visuellen Untersuchung nach ICDAS-II von Untersucher A und B</b> | <b>43</b> |
| <b>5.2</b> | <b>Intra-Untersucher Reproduzierbarkeit der visuellen Untersuchung nach ICDAS-II von Untersucher A und B</b> | <b>43</b> |
| <b>5.3</b> | <b>Reproduzierbarkeit der analogen Radiographie</b>  | <b>44</b> |
| <b>5.4</b> | <b>Reproduzierbarkeit der digitalen Radiographie</b>   | <b>45</b> |
| <b>5.5</b> | <b>Korrelation zwischen den visuellen Befunden und den Befunden der analogen Radiographie</b>                | <b>46</b> |
| <b>5.6</b> | <b>Korrelation zwischen den visuellen Befunden und den Befunden der digitalen Radiographie</b>               | <b>46</b> |
| <b>5.7</b> | <b>Korrelation der visuellen und histologischen Befunde</b>  | <b>46</b> |
| <b>5.8</b> | <b>Die Sensitivität und Spezifität der visuellen Untersuchung nach ICDAS-II</b>                              | <b>48</b> |
| 5.8.1      | Sensitivität und Spezifität des ICDAS-II von Untersucher A   | 48        |
| 5.8.2      | Sensitivität und Spezifität des ICDAS-II von Untersucher B   | 49        |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>6</b> | <b>Diskussion</b>  | <b>50</b> |
| 6.1      | Diskussion der Problemstellung   | 50        |
| 6.2      | Diskussion von Material und Methode  | 50        |
| 6.2.1    | Auswahl und Lagerung der Zähne   | 50        |
| 6.2.2    | Untersucher und Unterweisung   | 51        |
| 6.2.3    | Visuelle Untersuchung  | 54        |
| 6.2.4    | Untersuchung der analogen und digitalen Röntgenaufnahmen   | 55        |
| 6.2.5    | Diskussion des Goldstandards Histologie  | 56        |
| 6.2.6    | Studiendesign  | 57        |
| 6.3      | Diskussion der Ergebnisse  | 58        |
| 6.3.1    | Reproduzierbarkeit der visuellen Untersuchung nach ICDAS-II  | 58        |
| 6.3.2    | Reproduzierbarkeit der analogen und digitalen Radiographie von Untersucher A und B                   | 64        |
| 6.3.3    | Korrelation zwischen den visuellen Befunden und den Befunden der analogen und digitalen Radiographie | 66        |
| 6.3.4    | Korrelation der visuellen und histologischen Befunde   | 69        |
| 6.3.5    | Die Sensitivität und Spezifität der visuellen Untersuchung nach ICDAS-II                             | 70        |
| 6.4      | Klinische Relevanz   | 73        |
| <b>7</b> | <b>Zusammenfassungen</b>   | <b>75</b> |
| 7.1      | Zusammenfassung  | 75        |
| 7.2      | Zusammenfassung Englisch (Abstract)  | 77        |
| <b>8</b> | <b>Literaturverzeichnis</b>  | <b>79</b> |
| <b>9</b> | <b>Anhang</b>  | <b>95</b> |
| I:       | Dokumentationsbogen der visuellen Untersuchungen   | 95        |

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| II:       | Diagnoseschema des ICDAS-II  | 96         |
| III:      | Dokumentationstabelle für die Röntgenscores<br>(jeweils getrennt für analoge und digitale Röntgenbilder) | 97         |
| IV:       | Protokollblatt zur Dokumentation der Entwässerungs-<br>und Infiltrationsreihe für die Zahnkronen         | 98         |
| V:        | Dokumentationsblatt zur Herstellung der<br>Zahnhartschnitte  | 99         |
| VI:       | Dokumentationsbogen für die histologischen Untersuchungen  | 100        |
| <b>10</b> | <b>Abkürzungsverzeichnis</b>   | <b>101</b> |
| <b>11</b> | <b>Materialliste</b>   | <b>103</b> |
| 11.1      | Materialien zur Lagerung und Reinigung der Zähne   | 103        |
| 11.2      | Materialien zur Fotodokumentation und Bildbetrachtung  | 103        |
| 11.3      | Materialien für die Röntgenuntersuchungen  | 103        |
| 11.4      | Labormaterialien   | 104        |
| <b>12</b> | <b>Verzeichnis akademischer Lehrer</b>   | <b>105</b> |
| <b>13</b> | <b>Danksagung</b>  | <b>106</b> |

# 1 Einleitung

In der heutigen Zahnmedizin stehen dem Zahnarzt eine Vielzahl von Untersuchungsverfahren zur Kariesdiagnose zur Verfügung. Um den Verlust der Zahnhartsubstanzen aufgrund der Karies so gering wie möglich zu halten, ist es wichtig, präventive Maßnahmen anzuwenden und Karies frühzeitig zu diagnostizieren. Neben der visuellen Untersuchung können je nach Lokalisation der Karies weitere Verfahren wie Röntgenaufnahmen, faseroptische Transillumination, elektrische Widerstandsmessung und Laserfluoreszenzmessung hinzugezogen werden. Eine behandlungsbedürftige Karies (D3-Niveau) liegt nach der Definition der WHO [1997] dann vor, wenn freiliegendes Dentin sichtbar oder unterminierter Schmelz mit erweichten Schmelzrändern tastbar ist. Diese fortgeschrittene Form der Karies ist allerdings rückläufig. Um bereits Initialläsionen zu erfassen und gegebenenfalls rechtzeitig Maßnahmen zur Remineralisation zu ergreifen, sind differenzierte Indizes nötig.

Das International Caries Detection and Assessment System (ICDAS-II) ist ein visuelles Kariesdiagnoseverfahren, das sowohl initiale als auch bereits manifeste Läsionen erfasst. Dabei wird die okklusale Karies in sieben Codes (0 bis 6) eingeteilt. Schmelzkaries wird mit den Codes 1 und 2 erfasst, Dentinkaries mit den Codes 3 bis 6.

Zahlreichen Studien zeigten gute Ergebnisse für das ICDAS-II bezüglich der Sensitivität, Spezifität und Reproduzierbarkeit der okklusalen Karies [Rodrigues et al., 2008; Diniz et al., 2009; Jablonski-Momeni et al., 2008a, 2009b, 2010b]. Das Ziel ist es, das ICDAS-II als eine standardisierte Methode in der Lehre, der Zahnarztpraxis und in epidemiologischen Studien einzusetzen [Pitts, 2004].

Die „European Organisation for Caries Research (ORCA)“ und die „Association for Dental Education in Europe (ADEE)“ erarbeiteten 2010 das „European Core Curriculum Cariology“. Darin wird zum Thema „Diagnose“ gefordert, dass ein Zahnarzt in der Lage sein sollte, Karies zu diagnostizieren, indem er Daten zu Zeichen und Symptomen der Karies sammelt, analysiert und integriert. Dabei sollte auch die Kariesaktivität eingeschätzt werden können [Schulte et al., 2011]. Das ICDAS-II wird diesen Anforderungen gerecht und wird daher vermehrt in den universitären Lehrplan eingebaut.

Bisher liegen nur wenige Daten darüber vor, wie Sensibilität, Spezifität und Reproduzierbarkeit sowie die Korrelationen des ICDAS-II mit der Radiologie bzw. Histologie für einen unerfahrenen Untersucher, der das System neu erlernt, verglichen mit einem erfahrenen Untersucher sind. Daher wird in dieser vorliegenden Arbeit eine in-vitro Studie vorgestellt, die sich mit dieser Fragestellung auseinandersetzt.



## 2 Literaturübersicht

### 2.1 Fissuren- und Grübchenkaries

#### 2.1.1 Ätiologie der Zahnkaries

Die Zahnkaries ist eine Erkrankung der Zahnhartsubstanzen, die durch das Zusammenspiel verschiedener Faktoren entsteht. Bereits 1889 stellte *Miller* seine chemisch-parasitäre Theorie zur Kariesentstehung vor: kariogene Mikroorganismen in der Zahnplaque bilden aus niedermolekularen Kohlenhydraten organische Säuren, die zur Demineralisation der Zahnhartsubstanzen führen [Miller, 1889]. Später verifizierte *Keyes* [1962] diese Theorie und beschrieb drei ursächliche Komponenten (Zähne als Wirt, Mikroorganismen und Substrat) der Zahnkaries. *König* [1971] fügte den Faktor Zeit hinzu, in der die Säuren auf die Zähne einwirken. Somit ist heute allgemein anerkannt, dass eine kariöse Läsion nur dann entsteht, wenn die vier Faktoren (Zähne als Wirt, Mikroorganismen, Substrat und Zeit) gleichzeitig vorhanden sind. Neben diesen Primärfaktoren werden sekundäre Faktoren wie die Eigenschaften des Speichels (Speichelzusammensetzung, Pufferkapazität, Speichelfluss), die Häufigkeit und Dauer der Substratzufuhr, Zahnfehlstellungen, die Immunabwehr und sozioökonomische Komponenten beschrieben, die die Entstehung und Progression der Zahnkaries beeinflussen [Hellwig et al., 2009]. Karies ist ein dynamischer Prozess episodisch ablaufender De- und Remineralisationsvorgänge, beginnt auf der Zahnoberfläche und schreitet bei andauernder Demineralisation in die Tiefe voran [Schroeder, 1997]. Die in der Zahnplaque vorhandenen kariogenen Mikroorganismen (vor allem Mutans-Streptokokken und Laktobazillen) metabolisieren die mit der Nahrung aufgenommenen niedermolekularen Zucker (vor allem Saccharose) und produzieren unter anderem Säuren wie Lactat und Pyruvat. Somit kommt es zum Abfall des pH-Wertes in den betroffenen Stellen der Plaque und damit zum Herauslösen von Kalzium- und Phosphationen aus dem kristallinen Gefüge des Schmelzes. Die dabei freiwerdenden Ionen diffundieren entsprechend ihres Konzentrationsgradienten zur Schmelzoberfläche und in die Plaque (Demineralisation). Werden die Säuren in der Plaque durch den Speichel verdünnt und neutralisiert, kehrt der pH-Wert wieder in den neutralen Bereich (pH 6,5-6,9) zurück. Da nun die Plaque bei diesem pH-Wert mit Kalzium- und Phosphationen übersättigt ist, kommt es zur Rückdiffusion der Ionen in den Schmelz (Remineralisation). *Levine* [1997] bezeichnete diesen episodischen Vorgang der De- und Remineralisation auch als „Ionenwippe“.

### 2.1.2 Histologie der Zahnkaries

Wenn die Phase der Demineralisation überwiegt, kommt es zunächst zu mikroskopisch sichtbaren und in späteren Stadien auch zu klinisch feststellbaren Defekten der Zahnhartsubstanzen. Histologisch sind bei lichtmikroskopischen und polarisationsmikroskopischen Untersuchungen an Dünnschliffen je nach Ausdehnung der Karies verschiedene Zonen zu beobachten. Meist sind sie jedoch nicht gleichzeitig erkennbar, da ihr Erscheinen vom Imbibitionsmedium abhängig ist [Schroeder, 1997].

So unterscheidet man bei einer initialen Läsion (Schmelzkaries) vier verschiedene Zonen (von innen nach außen):

- 1 **Transluzente Zone:** Zone der fortschreitenden Demineralisation. Durch Herauslösen von „leicht“ säurelöslichem Karbonat aus dem Apatitgitter entstehen kleine Poren bzw. vergrößern sich die Poren im Zahnschmelz (Porenvolumen 1%).
- 2 **Dunkle Zone:** Zone der Remineralisation. Aufgrund von Remineralisationsvorgängen haben die Schmelzkristallite dieser Zone einen größeren Durchmesser als die im gesunden Schmelz. Die Poren sind kleiner als die der transluzenten Zone.  
Sie ist relativ schmal, wenn der kariöse Prozess rasch fortschreitet; sie wird breiter, wenn der kariöse Prozess sich verlangsamt oder zum Stehen kommt.
- 3 **Läsionskörper:** Zone der Demineralisation. Sie ist die Zone mit dem größten Mineralverlust. In diese Poren (Porenvolumen 5-25%) können Speichelbestandteile eindringen. Die Retzius-Streifen und die Querstreifung der Prismen werden hier deutlich sichtbarer als im gesunden Schmelz.
- 4 **„Intakte“ Oberflächenschicht:** Zone der Remineralisation. Sie weist nur einen geringen Mineralverlust auf. Der Durchmesser der Kristallite ist größer als im gesunden Schmelz. Das Porenvolumen beträgt weniger als 5%.

Schreitet die Karies bis zur Schmelz-Dentin-Grenze voran, breitet sich der kariöse Prozess rascher aus als im Schmelz. Aufgrund der Odontoblastenfortsätze, die das Dentin durchziehen, reagieren Dentin und Pulpa auf äußere Reize gemeinsam (Pulpa-Dentin-Einheit). Bereits vor der Schmelzkavitation sind im Dentin histopathologische Veränderungen aufzufinden. So lassen sich die strukturellen Veränderungen bei Dentinkaries vor Beginn der Schmelzkavitation wie folgt unterscheiden (von innen nach außen):

- 1 ***Tertiärdentin:*** Odontoblasten bilden als Reaktion auf einen peripheren Stimulus an der entsprechenden Dentin-Pulpa-Grenze Dentin (Reaktionsdentin), dessen Struktur je nach Intensität und Dauer der Irritation variiert.
- 2 ***Normaldentin***
- 3 ***Sklerotisches Dentin:*** Zone kann nur im Schliffpräparat beobachtet werden (im Durchlicht hell, im Auflicht dunkel). Sie bildet mit peritubulärem Dentin, verkalktem Kanalinhalt und Whitlockitkristallen verschlossenen Dentinkanälchen eine natürliche Abwehrschranke. Bei akuter Karies ist diese Zone dünn und unregelmäßig, bei chronischer Karies wesentlich breiter und braun verfärbt. Die Härte der sklerotischen Zone nimmt gegen die Zonen 4 und 5 ab.
- 4 ***„Dead Tract“:*** Zone wird mit fortschreitender bakterieller Penetration immer kleiner und verschwindet schließlich ganz. Dentinkanäle enthalten keine vitalen (mit der Pulpa kommunizierenden) Odontoblastenfortsätze mehr. Im Durchlicht ist sie als die Summe vieler schwarzer linienförmiger Dentinkanälchen sichtbar, da die in den Kanälen enthaltene Luft eine Totalreflektion des durchdringenden Lichtes bewirkt.
- 5 ***Zone der Demineralisation:*** Die von den kariogenen Bakterien produzierten Säuren diffundieren der Penetrationsfront immer etwas voraus und demineralisieren das Dentin. Zone erscheint bei lichtmikroskopischer Betrachtung eines Schliff- oder Schnittpräparates strukturell unverändert.

Ist die Schmelzkavitation erfolgt, kommt es zur massiven Infektion des Dentinegewebes. Histopathologische Untersuchungen zeigen bei der fortgeschrittenen Dentinkaries das Verschwinden der „dead tracts“, dafür sind peripher zur Zone der Demineralisation zwei weitere Zonen erkennbar:

- 6 ***Zone der Penetration:*** Bakterien dringen durch die Dentinkanälchen vor. Vermehrung der Bakterien und Ausscheidung von Stoffwechselprodukten erhöhen den intratubulären Druck. Es entstehen lokale Ausweitungen der Kanälchen (Ampullen). Die Ampullen können perlenartig aneinandergereiht sein (Rosenkränze) oder ineinander fließen (Kavernen).
- 7 ***Zone der Nekrose:*** Zone entspricht der klinisch sichtbaren Kavitation und erweichtem Restmaterial. Das Restdentin ist weich, gelbbraun und besteht aus verflüssigtem und zerfallenem Dentin (nekrotisch) und Bakterien.

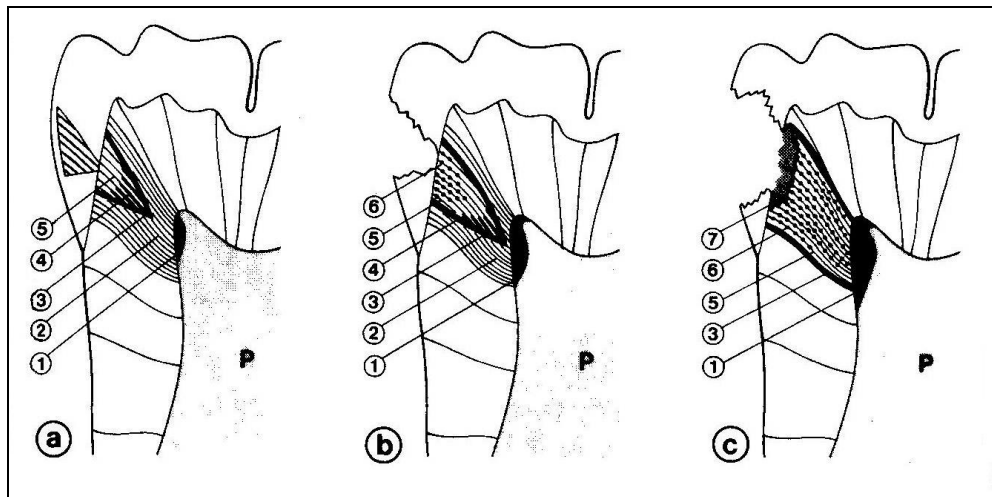


Abb.2.1: Schematische Darstellung der strukturellen Veränderungen bei Dentinkaries vor (a) und nach (b) der Schmelzkavitation sowie im fortgeschrittenen (c) Zustand [nach Silverstone und Hicks, 1985]. Erklärungen zu den Zahlen 1-7 siehe Text.

(Quelle: Abb.7/6, Seite 93; Pathobiologie oraler Strukturen, Hubert E. Schroeder, 1997)

### 2.1.3 Besonderheiten der Fissuren und Grübchen

Karies entsteht nicht in allen Regionen eines Zahnes gleichermaßen, sondern es gibt Prädispositionsstellen, an denen Karies bevorzugt entsteht. Diese Bereiche sind die Fissuren und Grübchen, Approximalfächen, das zervikale Drittel der Zahnkronen und freiliegende Zahnhälse, die der natürlichen Selbstreinigung durch Zunge, Wange und Speichel unzureichend oder überhaupt nicht zugänglich sind [Lehmann und Hellwig, 1998].

Nagano [1961] untersuchte die Morphologie der Fissuren und unterschied vier Typen, die unterschiedlich häufig aufzufinden waren: Der V-Typ (34% aller untersuchten Fissuren) ist im Fissureneingang sehr weit und zum Grund hin schmaler. Umgekehrt ist es bei dem IK-Typ (26%) mit einem schmalen Spalt im Eingangsbereich, der sich im unteren Bereich stark erweitert. Während der I-Typ (19%) ein sehr schmaler Spalt ist, weist der U-Typ (14%) vom Fissureneingang bis zum Grund in etwa die gleiche Breite auf. Weiterhin untersuchte Nagano [1961] an den vier unterschiedlichen Fissurentypen, wo die Karies innerhalb der Fissur bevorzugt beginnt. Er stellte fest, dass die Karies bei den I- und IK-förmigen Fissuren im Eingangsbereich, in den U-förmigen Fissuren im mittleren Bereich und in den V-förmigen Fissuren am Fissurengrund beginnt. Zahlreiche andere Studien [König, 1963; Mortimer, 1964] bestätigten diese Beobachtung. Lussi *et al.* [1995] machten ebenfalls die ungünstige Morphologie der Fissuren für die hohe Kariesanfälligkeit verantwortlich, da dort eine vollständige Plaqueentfernung kaum möglich ist. Weiterhin stellten Carvalho *et al.* [1989] fest, dass durchbrechende Zähne vermehrt Plaque in den Fissuren und Grübchen aufweisen, da durch den fehlenden Antagonistenkontakt bei der Nahrungszerkleinerung keine

Selbstreinigung stattfindet. Hinzu kommt, dass in den ersten Jahren nach dem Zahndurchbruch die Kariesanfälligkeit des Schmelzes generell höher ist, da die posteruptive Schmelzreifung noch nicht abgeschlossen ist [Crabb, 1976].

#### 2.1.4 Epidemiologie

In einigen Regionen Europas konnte zu Beginn der achtziger Jahre ein drastischer Rückgang der Kariesprävalenz bei Kindern und Jugendlichen verzeichnet werden [Marthaler, 1990]. Um auch in Deutschland die präventive Versorgung der Schulkinder zu verbessern, wurde 1989 durch entsprechende Gesetzgebung (§ 21 und § 22 SGB V) die Individual- und Gruppenprophylaxe geregelt. Seit 1994 führt die Deutsche Arbeitsgemeinschaft für Jugendzahnpflege e.V. (DAJ) in regelmäßigen Abständen bundesweite repräsentative Studien zur Dokumentation und Auswertung der gruppenprophylaktischen Maßnahmen durch. Dabei wird der Zahnstatus der 6- bis 7-Jährigen, der 12-Jährigen und seit 2004 der 15-Jährigen erhoben. Der DMF-T Index (dmf-t für Milchzähne), der die Anzahl der kariösen, fehlenden oder gefüllten Zähne abbildet, dient als Maßeinheit zur Beurteilung der Zahngesundheit. In der aktuellen Studie der DAJ [Pieper, 2010] konnte bei den 6- bis 7-Jährigen zwischen 1994/1995 und 2009 im Durchschnitt eine Kariesreduktion von 36,8 % registriert werden. Bei den 12-Jährigen verringerte sich der mittlere DMF-T zwischen 1994 und 2009 von 2,44 auf 0,72, d.h. der Wert wurde im Beobachtungszeitraum um 72,7% reduziert. Verschiedene Studien konnten zeigen, dass vor allem die regelmäßige Zahnpflege mit fluoridhaltigen Zahnpasten, Fissurenversiegelungen an Molaren, Lokalfluoridierungsmaßnahmen im Rahmen der Gruppen- und Individualprophylaxe sowie die verstärkte Verwendung von fluoridhaltigen Speisesalzen und Einnahme von Fluoridtabletten wesentliche Faktoren für die Verbesserung der Zahngesundheit der 12-Jährigen sind [Momeni et al., 2007; Pieper et al., 2007]. Auch bei den 15-Jährigen verringerte sich der mittlere DMF-T für Deutschland von 2,05 im Jahr 2004 auf 1,41 im Jahr 2009. Neben dieser positiven Entwicklung, die als „caries decline“ bezeichnet wird, zeigt auch die DAJ-Studie von 2009 eine deutliche Polarisierung des Kariesbefalls [Pieper, 2010]. In allen Altersgruppen steht einer großen Anzahl von Kindern ohne Karieserfahrung eine kleine Gruppe von Kindern mit großer Karieserfahrung gegenüber. *Micheelis* und *Schiffner* [2006] stellten in der vierten deutschen Mundgesundheitsstudie fest, dass 10,2% der untersuchten 12-Jährigen 60,1% der Karieserfahrung ihrer Altersgruppe auf sich vereinigen. 26,8% der untersuchten 15-Jährigen vereinigten 79,2% der Karieserfahrung ihrer Altersgruppe. Bei dieser Gruppe von Kindern mit großer Kariesprävalenz spielen, wie einige Studien belegen, sozioökonomische Einflussfaktoren eine wichtige Rolle [Heinrich-

Weltzien et al., 2008; Pieper, 2010]. *Brathall* [2000] führte den „Significant Caries Index (SIC)“ ein, der sich auf das Drittel einer Population mit dem höchsten DMF-T-Wert fokussiert. Dieser betrug bundesweit bei den 12-Jährigen 1994/95 zwischen 4,88 und 6,41, im Jahr 2009 zwischen 1,68 und 3,05. Dies zeigt, dass von den Prophylaxemaßnahmen nicht nur die Kinder mit geringer Kariesgefährdung profitieren, sondern auch Kinder mit hohem Kariesrisiko [Micheelis und Schiffner, 2006; Pieper, 2010]. Der Kariesrückgang ist jedoch nicht an allen Zahnflächen gleichermaßen festzustellen. Nach *Hannigan et al.* [2000] konzentriert sich der Kariesbefall bis etwa zum 12. Lebensjahr vor allem auf die Fissuren und Grübchen der ersten Molaren. Ab dem 13. Lebensjahr ist ein zunehmender Anstieg der Approximalkaries zu verzeichnen [Mejare et al., 2004]. Parallel zur rückläufigen Entwicklung der Kariesprävalenz zeigt sich eine Veränderung im klinischen Erscheinungsbild der Okklusalkaries. Großflächige, kavitierende Läsionen sind seltener zu beobachten. Stattdessen tritt die Karies häufig in Form subtiler, meist schwer zu diagnostizierender Läsion auf. *Weerheijm et al.* [1997] beschreiben die so genannte „hidden caries“ als Dentinkaries, die bei der alleinigen klinischen Untersuchung nicht diagnostizierbar ist. Auf der Röntgenaufnahme ist allerdings eine deutlich umschriebene Radioluzenz unterhalb der intakten okklusalen Schmelzschicht erkennbar. So wird durch die intakte Schmelzschicht eine ausgeprägte Dentinläsion maskiert. *Lussi et al.* [1993] sehen dafür die vermehrte lokale Anwendung von Fluoriden mit remineralisierender Wirkung als Ursache. Es wird deutlich, dass durch diese Entwicklung die Diagnose der Okklusalkaries eine besondere Herausforderung für den Zahnarzt darstellt.

## 2.2 Methoden zur Diagnose der Okklusalkaries

Im zahnärztlichen Alltag spielt die rechtzeitige Erkennung der Karies eine große Rolle. Hier ist ein besonderes Augenmerk auf die okklusale Karies zu richten, da sich das klinische Erscheinungsbild in den letzten Jahren verändert hat (siehe Kapitel 2.1.4). Eine differenzierte Kariesdiagnose, die auch subtile Läsionen in den Fissuren und Grübchen erfasst, gewinnt hinsichtlich der entsprechenden präventiven bzw. restaurativen Therapiemöglichkeiten an Bedeutung. Dem Zahnarzt stehen heute zur Kariesdiagnose eine Vielzahl an verschiedenen Hilfsmitteln zur Verfügung, die ständig weiterentwickelt werden. Eine Übersicht der derzeit bekanntesten Verfahren wird in den nachfolgenden Kapiteln gegeben.

### 2.2.1 Die visuelle und visuell-taktile Kariesdiagnose

Die Basis für eine systematische Kariesdiagnose stellt noch immer die visuelle Untersuchung dar. Traditionell erfolgte die visuell-taktile Untersuchung der Zähne mit der spitzen zahnärztlichen Sonde, einem Spiegel und einer geeigneten Lichtquelle. Als sicheres Zeichen für eine kariöse Läsion galt das „Kleben“ einer mit mäßigem Druck in die Fissur eingeführte Sonde [Lussi, 1993]. Dieses Vorgehen gilt nicht mehr als zeitgemäß. *Penning et al.* [1992] und *Lussi et al.* [1998] konnten in ihren Studien zeigen, dass mit der visuell-taktilen Untersuchung im Vergleich zur visuellen Untersuchung durch die Sondierung des Zahnes kein diagnostischer Zugewinn erzielt werden kann. Dagegen können bei der taktilen Untersuchung mit der spitzen Sonde gesunde wie auch remineralisierbare initial kariöse Zahnoberflächen iatrogene Schäden davon tragen. Außerdem konnten *Loesche et al.* [1979] die Übertragung kariogener Keime von infizierten in sterile Fissuren mit der Sonde nachweisen. *Hujoel et al.* [1995] zeigten allerdings, dass diese Art der Keimübertragung eine nur sehr geringe Bedeutung hat. Als Diagnoseinstrument empfiehlt die Weltgesundheitsorganisation für die visuell-taktile Untersuchung die abgerundete CPI- bzw. Parodontalsonde [WHO, 1997]. Dabei wird das abgerundete Sondenende nur verwendet, um durch druckloses Abtasten der Zahnoberfläche Informationen über die Oberflächenbeschaffenheit bzw. Rauigkeit zu erhalten.

Vor der visuellen Untersuchung sollten die zu untersuchenden Zähne von harten und weichen Belägen befreit werden. Auch die Lufttrocknung der Zähne mit der Multifunktionsspritze (Püster) spielt eine immer wichtigere Rolle [Ismail, 1997]. *Thylstrup* und *Fejerskov* [1994] zeigten, dass durch Lufttrocknung demineralisierte Schmelzoberflächen als opake Flecken deutlich besser sichtbar werden als im feuchten Zustand. Grund hierfür ist der unterschiedliche Brechungsindex von demineralisiertem Schmelz im feuchten (1,33) und trockenen Zustand (1,0) im Gegensatz zu gesundem Schmelz (1,62).

*Heinrich-Weltzien et al.* [2008] berücksichtigen den Prozesscharakter der Karies. Hierbei werden kreidig-weiße Opazitäten (white spot) mit aktiven Läsionen und Braunverfärbungen (brown spot) mit inaktiven Läsionen assoziiert. Auch *Ekstrand et al.* [1998] und *Nyvad et al.* [1999] unterscheiden in ihren Klassifikationssystemen zwischen aktiven und inaktiven Läsionen. Dabei geben die Farbe und die Oberflächenbeschaffenheit Auskunft über die Aktivität einer kariösen Läsion: Aktive Läsionen zeichnen sich durch weißlich-gelbe, opake, raue Oberflächen aus, während inaktive Läsionen glänzende, harte Oberflächen aufweisen.

In den letzten Jahrzehnten wurden für die visuelle Kariesdiagnose der Okklusalkaries verschiedene Einteilungen vorgestellt, die die verschiedenen Kariesstadien differenzieren.

Tabelle 2.1 gibt eine Auswahl der bekanntesten Klassifizierungen.

Tab.2.1: Übersicht der verschiedenen Diagnosekriterien für die okklusale Karies

| Autor                             | Einteilung und Beschreibung der Kriterien  |
|-----------------------------------|--|
| <i>Parfitt</i> [1954]             | Grad 1= leichte Verfärbung mit Verlust des Schmelzglanzes<br>Grad 2= raue Schmelzoberfläche mit Grübchenbildung, mit einer Sonde tastbar<br>Grad 3= weiterer Schmelzverlust mit Kavitätenbildung bis zum Dentin<br>Grad 4= Dentinverlust und Kavitätenbildung  |
| <i>Backer-Dirks et al.</i> [1961] | I = schmale, dunkle Linie im Fissurengrund<br>II = zusätzliche weiße Zone am Rand der Fissuren<br>III = kleinste Unterbrechung in der Schmelzstruktur mit oder ohne Unterminierung<br>IV= Kavität mit über 3mm Ausdehnung  |
| <i>McHugh et al.</i> [1964]       | Score 1= klebende Sonde<br>Score 2= Fissur oder Kavität mit weichem Boden und Verfärbung oder Opazität des Schmelzes<br>Score 3= Kavität mit offensichtlicher Dentinbeteiligung<br>Score 4= Kavität mit offensichtlicher Pulpabeteiligung  |
| <i>Marthaler</i> [1966]           | <i>Einsatz der Sonde ist nur im Zweifelsfall indiziert</i><br>Grad 1= leicht bräunliche, schmale Linie oder white spot mit harter Oberfläche, nicht größer als 2mm<br>Grad 2= deutliche bräunliche oder schwarze Linie oder white spot, größer als 2mm<br>Grad 3= Diskontinuität der Schmelzoberfläche bzw. Kavitätenbildung<br>Grad 4= Kavitätenbildung mit einer Ausdehnung größer als 2mm   |
| <i>Møller</i> [1966]              | Grad 1= dunkle, auf schmale Linien begrenzte Bereiche<br>Grad 2= zusätzlich zu Grad 1 weißliche Zone am Rand der Fissuren<br>Grad 3= kleinste wahrnehmbare Unterbrechung im Schmelz  |
| <i>Radike</i> [1968]              | 1= klebende Sonde bei moderatem Druck und folgenden Begleitumständen: Weicher Untergrund und/oder Opazität am Rand der Fissuren und/oder erweichter Schmelz an den Fissuren, der mit der Sonde entfernbar ist<br>2= Verlust der Schmelztransluzenz am Fissuren- und Grübchenrand. Ist der Schmelzverlauf unterbrochen und der Untergrund weich oder eine Schattenbildung sichtbar, so kann es sich um eine versteckte Dentinläsion handeln   |
| <i>Ekstrand et al.</i> [1998]     | Score 0 = keine oder leichte Veränderung in der Schmelztransluzenz nach ausgiebiger Lufttrocknung<br>Score 1 = Opazität (weiß) im Schmelz, nur erkennbar nach ausgiebiger Lufttrocknung<br>Score 1a= Opazität (braun) im Schmelz, nur erkennbar nach ausgiebiger Lufttrocknung<br>Score 2= Opazität (weiß), erkennbar bereits am feuchten Zahn<br>Score 2a= Opazität (braun), erkennbar bereits am feuchten Zahn<br>Score 3 = lokalisierter Schmelzeinbruch in opakem oder verfärbtem Schmelz und /oder gräuliche, vom Dentin ausgehende Verfärbung<br>Score 4= Kavitation mit Dentinbeteiligung |



|  |   |
|--|---|
| <p><i>Nyvad et al.</i><br/>[1999]</p>  | <p><i>Unterscheidung zwischen aktiver und inaktiver Karies, in modifizierter Version Verwendung einer Sonde mit kugelförmiger Spitze:</i></p> <p>Grad 0= gesunder Zahn</p> <p>Grad 1= aktive Karies, intakte Schmelzoberfläche (weißlich-gelblich opak, matt, rau, Plaque bedeckt)</p> <p>Grad 2= aktive Karies, Schmelzstruktur unterbrochen (weißlich-gelblich opak, matt, rau, Plaque bedeckt)</p> <p>Grad 3= aktive Karies, Schmelz-Dentin-Beteiligung mit Kavitätenbildung (Oberfläche weich und ledrig), mit oder ohne Pulpabeteiligung</p> <p>Grad 4= inaktive Karies, intakte Schmelzoberfläche (weißlich, bräunlich oder schwarz, glänzend, hart)</p> <p>Grad 5= inaktive Karies, Schmelzstruktur unterbrochen (weißlich, bräunlich oder schwarz, glänzend, hart)</p> <p>Grad 6= inaktive Karies, Schmelz-Dentin-Beteiligung mit Kavitätenbildung (Kavität glänzend, hart), ohne Pulpabeteiligung</p> <p>Grad 7= intakte Füllung</p> <p>Grad 8= Füllung mit aktiver Karies</p> <p>Grad 9= Füllung mit inaktiver Karies</p> |
| <p><i>Fyffe et al.</i><br/>[2000a]</p> | <p><i>Dundee Selectable Threshold Method for Caries Diagnosis (DSTM):</i></p> <p>G= Gesunde Zahnhartsubstanz</p> <p>W= White spot Läsion</p> <p>B= Brown spot Läsion</p> <p>E= Schmelzkavität ohne Dentinbeteiligung</p> <p>D= Dentinläsion ohne Kavitätenbildung</p> <p>C= Detinläsion mit Kavitätenbildung</p> <p>P= Pulpabeteiligung</p> <p>A= Arretierte Dentinkaries (arrested dentinal decay)</p>   |

Die visuellen Kariesdiagnosesysteme von *Ekstrand et al.* [1998] und *Nyvad et al.* [1999] wurden in den vergangenen Jahren in wissenschaftlichen Studien eingesetzt, jedoch gab es keine international einheitliche Vorgehensweise. So fand im Jahr 2002 ein internationaler Workshop zum Thema klinische Kariesstudien (International Consensus Workshop on Caries Clinical Trials, ICW-ICC) statt, an dem 95 Teilnehmer aus 23 Ländern teilnahmen. Ziel der Wissenschaftler war es, auf der Basis bisher bekannter und validierter visueller Kariesdiagnosemethoden [Ekstrand et al., 1998; Fyffe et al., 2000a; Chesters et al., 2002; Rickets et al., 2002] Kriterien für die klinische Kariesdiagnose zusammenzuführen, die dem neuesten Stand der Wissenschaft entsprechen. Im Anschluss an diesen Workshop kam eine Arbeitsgruppe zustande, die das „International Caries Detection and Assessment System“ (ICDAS-I) entwickelte. Dieses System sollte in epidemiologischen Erhebungen, klinischen Studien sowie in der zahnärztlichen Praxis Anwendung finden können [Pitts, 2004]. Außerdem sollte dieses standardisierte Kariesdiagnosesystem die Diagnose, Prognose und die

Entscheidung der klinischen Behandlung der Zahnkaries auf individueller Ebene und im öffentlichen Gesundheitsdienst ermöglichen.

Im Jahre 2002 wurde während der Entwicklung des ICDAS-I die Validität des Systems anhand von 57 extrahierten Zähnen überprüft [ICDAS Coordinating Committee, 2005]. Die Untersuchungsergebnisse zeigten, dass Code 3 (Schattenbildung im Dentin ausgehend von Fissuren und Grübchen) in der histologischen Untersuchung tiefer war als Code 4 (Demineralisation bzw. Verlust der Schmelzstruktur im Bereich der Fissuren, ohne sichtbares Dentin), so dass die Codes 3 und 4 getauscht wurden. Diese modifizierte Form wurde im Jahr 2005 als ICDAS-II vorgestellt. Sie dient der Beurteilung kariöser Veränderungen an Okklusal- und Glattflächen, Wurzeloberflächen sowie an Restaurationen und Versiegelungen der Zähne. Das ICDAS-II ist ein bi-digitales Einstufungssystem, das an erster Stelle den Grad der Versorgung angibt [ICDAS Coordinating Committee, 2009]:

*Tab.2.2: ICDAS-II Versorgungscodes und ihre Bedeutung*

| Code | Bedeutung   |
|------|---|
| 0    | Keine Versorgung                                    |
| 1    | Partielle Versiegelung                              |
| 2    | Volle Versiegelung                                  |
| 3    | Zahnfarbene Restauration                            |
| 4    | Amalgamfüllung                                      |
| 5    | Stahlkrone  |
| 6    | Keramik-, Gold-, Verblendkrone, Veneer              |
| 7    | Frakturierte/verlorene Restauration                 |
| 8    | Provisorische Versorgung                            |
| 9    | Fehlender Zahn, wird differenziert in:              |
| 9-0  | Implantat, Zahnverlust aus anderem Grund als Karies |
| 9-1  | Implantat, Zahnverlust aufgrund von Karies          |
| 9-2  | Pontic, Zahnverlust aus anderem Grund als Karies    |
| 9-3  | Pontic, Zahnverlust aufgrund von Karies             |
| 9-6  | Oberfläche kann nicht beurteilt werden              |
| 9-7  | Zahnverlust aufgrund von Karies                     |
| 9-8  | Zahnverlust aus anderem Grund als Karies            |
| 9-9  | Zahn noch nicht durchgebrochen                      |

An zweiter Stelle wird die Kariesausprägung angegeben. Das ICDAS-II umfasst dafür sieben ICDAS-II-Codes (0 bis 6), die in Tabelle 4.3 (Kapitel 4) ausführlich erläutert werden.

Die zu untersuchenden Zähne sollten frei von Plaque und Verunreinigungen sein und werden im feuchten und trockenen Zustand befundet. Dabei sollte berücksichtigt werden, dass kleinste, subtile Veränderungen an der Zahnoberfläche auf histologische Veränderungen hinweisen können. Als Hilfsmittel kann zum Ertasten von Kavitäten eine CPI- oder

Parodontalsonde herangezogen werden. Bei Zweifel bezüglich der Karieseinstufung sollte der Untersucher den niedrigeren ICDAS-II Code nehmen [ICDAS-II Coordinating Committee, 2009].

Für das ICDAS-II wurden bezüglich der Validität sowie der Reproduzierbarkeit zahlreiche Untersuchungen an Zähnen der bleibenden Dentition vorgenommen. *Jablonski-Momeni et al.* [2008a] untersuchten die Okklusalfläche von 100 extrahierten Molaren und Prämolaren mittels ICDAS-II und untersuchten sie anschließend histologisch (*Downer*, 1975). Die Sensitivität betrug für das D1-Niveau (Schmelz- und Dentinkaries) 90,7% und für das D3-Niveau (Dentinkaries) 86,6%. Die ermittelte Spezifität lag für das D1-Niveau bei 54% und für das D3-Niveau bei 69,6%. Für die Inter- und Intra-Untersucher Reproduzierbarkeit erhielten sie gute gewichtete Kappa-Werte ( $\kappa = 0,61-0,83$ ). Die Korrelation der visuellen Untersuchung nach ICDAS-II zur histologischen Auswertung lag im moderaten Bereich ( $r_s = 0,43-0,72$ ).

*Rodrigues et al.* [2008] ermittelten in ihrer Studie an 119 Molaren für das ICDAS-II eine Sensitivität von 0,73 und eine Spezifität von 0,65 auf dem D3-Niveau (Dentinkaries) (*Downer*, 1975). Die Kappa-Werte für die Inter-Untersucher- ( $\kappa = 0,51$ ) und Intra-Untersucher Reproduzierbarkeit ( $\kappa = 0,61$ ) lagen etwas niedriger.

Auch *Diniz et al.* [2009] untersuchten die Okklusalkaries an 163 Molaren mittels ICDAS-II und Histologie. Die Sensitivität und Spezifität lagen auf dem D2-Niveau (ICDAS-II-Cut-off 1/2) bei 0,91 und 0,47 und auf dem D3-Niveau (ICDAS-II- Cut-off 2/3) bei 0,75 und 0,62. Die ungewichteten Kappa-Werte für die Inter- und Intra- Untersucher Reproduzierbarkeit lagen bei 0,51 und 0,58-0,59. Auch hier lag die Korrelation der visuellen Untersuchung mittels ICDAS-II und der Histologie im moderaten Bereich ( $r_s = 0,46-0,53$ ).

In einer weiteren in-vitro Studie untersuchten *Diniz et al.* [2011] die Okklusalflächen von 104 Molaren visuell (ICDAS-II), radiologisch und histologisch (*Ekstrand*, 1997). Die Inter- und Intra-Untersucher Reproduzierbarkeiten für das ICDAS-II waren hierbei gut ( $ICC_{\text{Intra}} = 0,88$  und  $ICC_{\text{Inter}} = 0,81$ ). Auch hier war die Korrelation der visuellen und histologischen Untersuchung moderat ( $r_s = 0,63$ ). Die Spezifität für die visuelle Untersuchung nach ICDAS-II war signifikant niedriger ( $p = 0,0269$ ) als für die radiologische Untersuchung mittels Bissflügelaufnahmen (0,79 versus 0,94), dafür war die Sensitivität der visuellen Untersuchung viel höher als die der radiologischen ( $p < 0,0001$ ; 0,83 versus 0,44). Leider ist nicht angegeben, auf welchem Kariesniveau diese Werte ermittelt wurden. 2012 untersuchten *Diniz et al.* in-vivo die Karies an 105 Okklusalflächen mittels ICDAS-II. Anschließend wurden die Zähne extrahiert und histologisch untersucht. Spezifität und Sensitivität für das ICDAS-II

waren auf dem D3-Niveau (histologische Scores 3 und 4) höher als auf dem D1-Niveau (histologische Scores 1-4): 0,60 und 0,93 (D3) versus 0,77 und 0,52.

In einer Studie von *Jablonski-Momeni et al.* [2010b] wurde die Inter- und Intra- Untersucher Reproduzierbarkeit nach einem Zeitraum von einem Tag, einer Woche und vier Wochen untersucht, um einen „memory effect“ auszuschließen. Sie fanden heraus, dass die Zeitspanne zwischen den Untersuchungen keinen Einfluss auf die Inter- und Intra- Untersucher Reproduzierbarkeit hat.

Auch an Milchzähnen wurden Untersuchungen zur Validierung des ICDAS-II für Okklusalkaries durchgeführt [Shoaib et al., 2009]. Für das D1-Niveau lagen Sensitivität und Spezifität bei 75,4% und 90,0%, für das D3-Niveau bei 63,1% und 92,8%. Die Intra-Untersucher Reproduzierbarkeit lag zwischen 0,74 und 0,81 und die Inter-Untersucher Reproduzierbarkeit zwischen 0,66 und 0,73. *Braga et al.* [2009b] konnten in ihrer Studie feststellen, dass das ICDAS-II bei Milchzähnen, im Gegensatz zu bleibenden Zähnen, nicht gut zwischen Karies in der äußeren und der inneren Schmelzhälfte unterscheiden kann. Sie erklären dies durch die viel dünnere Schmelzschicht bei Milchzähnen im Vergleich zu bleibenden Zähnen [Shoaib et al., 2009]. *Neuhaus et al.* [2010] untersuchten 37 Milchmolaren auf Okklusalkaries. Die visuelle Untersuchung mittels ICDAS-II validiert mit der histologischen Untersuchung ergab Sensitivitäten und Spezifitäten auf dem D1-Niveau von 0,82 und 0,65, auf dem D3-Niveau 0,83 und 0,85. Diese Ergebnisse waren also mit den Ergebnissen von *Shoaib et al.* [2009] vergleichbar. In einer Vergleichsstudie von *Teo et al.* [2013] wurden 64 Milchmolaren zuerst in-vivo mittels ICDAS-II, DIAGNOdent pen und CarieScan Pro untersucht und anschließend in-vitro mittels histologischer Untersuchung (Downer-Kriterien) validiert. Dabei zeigten die Ergebnisse der visuellen Untersuchung nach den ICDAS-II Kriterien die höchste Validität und Reproduzierbarkeit, wobei die Reproduzierbarkeit moderat war.

Um das ICDAS-II weltweit zu verbreiten und dessen Anwendung auch in Studien zu erleichtern, gibt es neben praktischen Lehrveranstaltungen weltweit auch ein E-Learning Programm, das zunächst in englischer Sprache eingeführt, später ins Spanische, Portugiesische und ins Deutsche übersetzt wurde. Es ist online kostenlos über die Homepage der ICDAS-Foundation [<http://icdas.smile-on.com/>] verfügbar und dauert 90 Minuten. *Diniz et al.* [2010] untersuchten den Einfluss dieses E-Learning Programms auf acht studentische Untersucher anhand von 104 Okklusalfächen bleibender Zähne (Molaren und Prämolaren). Sie konnten feststellen, dass das Programm die diagnostischen Fähigkeiten der studentischen Untersucher, Okklusalkaries mittels ICDAS-II zu beurteilen, verbessert.

*Rodrigues et al.* [2013] untersuchten hingegen den Effekt des E-Learning Programms auf vier erfahrene Zahnärzte, die im Durchschnitt acht Jahre Berufserfahrung hatten. Aus den Ergebnissen ihrer Untersuchung schlossen die Autoren, dass das E-Learning Programm keinen statistisch signifikanten Effekt auf die Fähigkeit der erfahrenen Zahnärzte hat, Okklusalkaries mittels ICDAS-II zu beurteilen. Es wird dadurch begründet, dass diese Untersucher bereits Erfahrung mitbringen, die visuellen/klinischen Zeichen der Schmelz- und Dentinkaries zu differenzieren und daher Veränderungen der Zahnhartsubstanz einfacher identifizieren.

Bereits 2009 überprüften *Zandona et al.* die Anwendung des ICDAS-II zur Diagnose der Okklusalkaries anhand von 60 Zähnen (40 Molaren und 20 Prämolaren) in drei unterschiedlichen Gruppen. Die Unterschiede der Intra- und Inter-Untersucher Reproduzierbarkeiten für Studierende, Graduierte und Lehrende waren statistisch nicht signifikant. Daraus folgerten die Autoren, dass vorherige klinische Erfahrungen keine signifikante Rolle in der Erlernung des ICDAS-II spielen. Eine weitere Studie von *Jablonski-Momeni et al.* [2012a] zeigte, dass bei Studenten des 6. Semesters der Zahnmedizin, die das ICDAS-II neu erlernten, eine zusätzliche Theorie-Stunde die Reproduzierbarkeit verbessert. Der Unterschied der Kappa-Werte war allerdings statistisch nicht signifikant, was durch eine geringe Anzahl der teilnehmenden Studenten erklärt wird. Auch in einer in-vitro Studie von *Parviainen et al.* [2013] wurden 57 Studenten des 6. Semesters durch drei Stunden Vorlesung und anschließend hands-on Kurs in das ICDAS-II eingewiesen. Anhand der Ergebnisse der visuellen Untersuchung mittels ICDAS-II kamen sie zum Schluss, dass die Studenten bereits nach einem Basistraining gut in der Lage sind, die Tiefe der kariösen Läsion mittels ICDAS-II einzuschätzen.

Seit Entwicklung des ICDAS-II werden weltweit auch viele epidemiologische Studien durchgeführt, die bei der Erhebung des DMF-T/dmf-t bzw. DMF-S/dmf-s für die D-Komponente die ICDAS-II Kriterien benutzen [Almerich-Silla et al., 2006; Braga et al., 2009c; Agustsdottir et al., 2010; Amorim et al., 2012; Iranzo-Cortes et al., 2013; Silva et al., 2014; Jablonski-Momeni et al., 2014d].

*Braga et al.* [2009c] untersuchten 252 Kinder im Alter von 36 bis 59 Monaten unter WHO- und ICDAS-II-Kriterien. Sie stellten fest, dass die Ergebnisse der Untersuchungen mittels ICDAS-II-Kriterien vergleichbar mit denen der WHO sind, wenn der cut-off Wert des ICDAS-II Codes bei 3 liegt. Jedoch dauerten die Untersuchungen mittels ICDAS-II doppelt so lange wie mittels WHO-Kriterien. So wurden für die zahnärztliche Untersuchung von Kindern nach den WHO-Kriterien ca. 1,9 Minuten benötigt, während die Untersuchung nach

den ICDAS-II-Kriterien ca. 3,7 Minuten dauerte [Braga et al., 2009c]. Nach *Ormond et al.* [2010] benötigen geübte Untersucher dagegen ca. 2,53 Minuten für die zahnärztliche Untersuchung nach ICDAS-II. Weiterhin sind die Notwendigkeit der Trocknung der Zahnoberflächen mittels Druckluft und der damit verbundene Aufwand bei der Befunderhebung nach ICDAS-II-Kriterien in epidemiologischen Studien zu berücksichtigen. 2012 untersuchten *Clara et al.* 14 epidemiologische Studien, die zur Bestimmung des DMF-Indexes das ICDAS-II benutzen. Sie fanden heraus, dass es Unstimmigkeiten darüber gibt, welche ICDAS-II Codes als Karies entsprechend der D-Komponente des DMF-Indexes benutzt werden, damit die DMF-Werte zwischen den Studien verglichen werden können. *Iranzo-Cortes et al.* [2013] untersuchten 101 Kinder im Alter von 5-15 Jahren und ermittelten die DMFT/dft bzw. DMFS/dfs-Werte anhand WHO Kriterien und unter Anwendung von fünf unterschiedlichen cut-off Werten der ICDAS-II Codes. Sie fanden heraus, dass die größte Übereinstimmung der Ergebnisse mittels WHO- bzw. ICDAS-II-Kriterien bei einem cut-off Wert von 3, also ICDAS-Codes 3 bis 6, lag.

*Jablonski-Momeni et al.* [2014c] untersuchten die Kariesprävalenz von 12-Jährigen in zwei Regionen von Hessen/Deutschland mit unterschiedlichen Präventionsprogrammen. Sie fanden heraus, dass es signifikante Unterschiede zwischen den DFS-Mittelwerten verschiedener Gruppen gab, wenn Initialläsionen in die Befundung mit einbezogen wurden. Sie fordern daher die Erfassung von Initialläsionen bei der Evaluation von Präventionsprogrammen.

Im Jahr 2007 entwickelten *Kühnisch et al.* [2007a] in Anlehnung an die Klassifizierungen von *Ekstrand et al.* [1998], *Nyvad et al.* [1999] sowie das ICDAS [2005] das universelle visuelle Scoring System (UniVISS) zur visuellen Diagnose der Karies an Okklusal- und Glattflächen. Die Befundung der gereinigten Zähne geschieht in drei Schritten: 1. Läsionserkennung und Einschätzung des Schweregrades, 2. Einschätzung der Verfärbung und 3. Einschätzung der Aktivität. Seither wurden nur wenige Studien mit UniVISS durchgeführt. Untersuchungen von *Kühnisch et al.* [2011] zur Validität ergaben für das D1-Niveau eine Sensitivität von 100% und eine Spezifität von 58,3%, für das D3-Niveau eine Sensitivität und Spezifität von 62,5% und 97,6%. Die erzielten gewichteten Kappa-Werte zeigen, dass die Reproduzierbarkeit gut bis moderat ist.

### 2.2.2 Röntgenologische Kariesdiagnose

Neben der visuellen Untersuchung spielt die röntgenologische Kariesdiagnostik im zahnärztlichen Alltag eine große Rolle. Die von *Raper* [1925] entwickelte Bissflügelaufnahme wird dabei häufig zur röntgenologischen Darstellung kariöser Prozesse

verwendet. Dabei wird vom rechten und linken Seitenzahnbereich jeweils eine Aufnahme durch Belichtung eines Zahnfilms mit einem Röntgentubus hergestellt. Darauf werden die Zahnkronen der Prämolaren und Molaren des Ober- und Unterkiefers gemeinsam erfasst. Mit den Bissflügelaufnahmen sind die Detektion von Okklusal- und Approximalkaries, Einschätzung der Füllungsqualität und Beurteilung parodontaler Strukturen möglich [Raper, 1925].

Für zahlreiche Autoren [Kidd und Pitts, 1990; Poorterman et al., 2000; Heinrich-Weltzien et al. 2007] sind Bissflügelaufnahmen das Mittel der Wahl zur Erfassung der Approximalkaries, da auf diesen bis zu 90% aller kariösen Läsionen erkannt werden. Lange Zeit wurde der Nutzen von Bissflügelaufnahmen zur Diagnostik der Okklusalkaries unterschätzt [Heinrich-Weltzien et al., 2008]. In vergleichenden klinisch-röntgenologischen Untersuchungen konnte jedoch gezeigt werden, dass mit diesem radiologischen Verfahren an bis zu 50% aller permanenten Molaren eine versteckte okklusale Dentinkaries diagnostiziert werden konnte [Weerheijm et al., 1992; Heinrich-Weltzien et al., 2003]. *Lussi et al.* [2003] stellten jedoch fest, dass kariöse Läsionen in Fissuren und Grübchen erst dann im Röntgenbild erfasst werden können, wenn die Karies bis in das Dentin fortgeschritten ist.

Neben konventionellen Zahnfilmen der analogen Radiographie wurden in den letzten Jahrzehnten mehrere Systeme für die digitale Radiographie entwickelt. Dabei werden die Röntgenaufnahmen mittels digitaler Bildempfängersysteme dargestellt. Bei den Festkörpersensoren unterscheidet man zwei Systeme, CCD (charged coupled device) und CMOS (complementary metal oxide semiconductor), um Bilder digital aufzuzeichnen. Daneben gibt es die Speicherfolientechnik (engl. phosphor storage plate, PSP genannt). Dabei wird bei der Röntgenaufnahme zunächst ein analoges Bild registriert, das erst durch den anschließenden Scanvorgang digitalisiert wird. Der große Vorteil der digitalen Radiographie ist die Strahlendosisreduktion beim intraoralen Röntgen von ca. 70% gegenüber D-Filmen und ca. 40% gegenüber E-Filmen. Weitere Vorteile sind der Wegfall von Film und Filmentwicklung sowie die Möglichkeit der Bildnachbearbeitung und -fernübertragung.

Es gibt zahlreiche Studien, die die Reproduzierbarkeit der radiologischen Kariesdiagnose der Okklusalkaries untersuchten. Für die Inter-Untersucher Reproduzierbarkeit lagen die ermittelten Kappa-Werte zwischen 0,45 und 0,86 bzw. für die Intra-Untersucher Reproduzierbarkeit zwischen 0,31 und 0,84 [Lussi et al., 1993 und 1996; Ekstrand et al., 1997; Thomas et al. 2001]. *Bader et al.* [2001] fasste in einer systematischen Übersichtsarbeit die mittleren Sensitivitäten und Spezifitäten der Bissflügeldiagnostik für die Okklusalkaries zusammen. Die Untersuchung ergab mittlere Sensitivitäten zwischen 39%-53% und mittlere

Spezifitäten zwischen 76% und 91%. *Pareira et al.* [2009] verglichen in einer in-vitro Studie die Akkuratheit von zwei digitalen Radiologiesystemen (CCD und PSP) mit der analogen Radiographie zur Diagnose der Okklusalkaries. Sie konnten keine signifikanten Unterschiede in der diagnostischen Güte der drei Systeme feststellen. Lediglich die Inter-Untersucher Reproduzierbarkeit der digitalen Röntgenaufnahmen war besser.

Ab 1998 entwickelten die Italiener *Mozzo* und *Procacci* die digitale Volumentomographie (DVT), engl. "cone beam computer tomography" (CBCT), bei der die Röntgenstrahlen kegelförmig ausgestrahlt werden. In der Zahnmedizin hat diese Art der Aufnahme vor allem in der Implantologie, Traumatologie, aber auch in der Kieferorthopädie immer mehr Anwendung gefunden.

Einige Studien zeigen, dass in der Kariesdiagnostik die DVT mit einer Sensitivität von 80% und einer Spezifität von 96% der konventionellen Bissflügelaufnahme überlegen ist [Haak, 2006; Zöller, 2007]. *Young et al.* [2009] verglichen ein digitales Röntgensystem (CCD) mit CBCT-Aufnahmen. Die Untersucher entdeckten signifikant mehr Approximalkaries (D1- und D3-Niveau) auf CBCT-Aufnahmen als auf den digitalen Röntgenbildern. Dies galt aber nicht für die Okklusalkaries. *Rathore et al.* [2012] verglichen ebenfalls ein digitales Röntgensystem mit CBCT-Aufnahmen. Sie konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Methoden feststellen. Jedoch sollte nicht außer Acht gelassen werden, dass der Patient bei einem CBCT (70 $\mu$ Sv) in jedem Fall einer viel höheren Strahlenbelastung ausgesetzt ist als bei vier Bissflügelaufnahmen mittels digitaler- (PSP-Sensor) oder konventioneller Radiographie (F-Speed-Filme) (5 $\mu$ Sv).

Da Patienten bei der radiologischen Kariesdiagnose Röntgenstrahlen ausgesetzt sind, muss nach §23 der Röntgenverordnung vor der Durchführung der Aufnahme eine rechtfertigende Indikation gestellt werden.

Um die Strahlenexposition so gering wie möglich zu halten, sollten die analoge Radiographie mit F-speed Filmen oder die digitale Radiographie, sowie eine Rechteckblende bei radiologischen Bildgebungsverfahren zur Kariesdiagnose verwendet werden [Ludlow, 2008a].

### 2.2.3 Faseroptische Transillumination

Bei der Kariesdiagnose mittels faseroptischer Transillumination (FOTI) werden die Zähne mit weißem Licht hoher Intensität durchleuchtet, das von einer Halogenlampe erzeugt wird. Dieses Verfahren basiert auf der unterschiedlichen Lichtdurchlässigkeit von demineralisierter und gesunder Zahnhartsubstanz [Pieper, 1986]. Kariöse Bereiche der Zähne enthalten vermehrt Poren und haben einen anderen Brechungsindex als gesunder Schmelz und Dentin.



An der Grenzfläche wird somit vermehrt Licht gestreut, so dass es zu einem Intensitätsverlust kommt, der als dunkler Fleck wahrgenommen wird.

Dieses Verfahren wird vor allem benutzt, um Approximalkaries zu diagnostizieren. Dazu wird die Kaltlichtsonde in den Interdentalraum geführt. Nach mehreren Entwicklungsstufen der Kaltlichtsonde veranlassten *Pieper* und *Schurade* [1987] das „Göttinger Modell“. Hierbei ist die Spitze der Kaltlichtsonde von beiden Seiten beschliffen, so dass sie besser an den Schmelz der Approximalflächen adaptiert werden kann. Das Streulicht wird somit weitgehend vermieden. Studien von *Pieper et al.* [1987] sowie *Heinrich et al.* [1991] zeigten, dass mit der faseroptischen Transillumination frühe Dentinläsionen zuverlässig entdeckt werden. Im Vergleich zu Bissflügelaufnahmen ist eine Unterscheidung der Kariestiefe (D1- oder D2) schmelzbegrenzter Läsionen jedoch nicht möglich [Heinrich et al., 1991].

Die Anwendung von FOTI zur Diagnose von okklusaler Karies wurde ebenfalls in einigen Studien untersucht [Wenzel et al., 1992; Verdonshot et al., 1992; Bader et al., 2001]. In einer in-vitro Studie von *Cortes et al.* [2003] lagen die Sensitivität und Spezifität für Schmelzläsionen bei 96% und 74%. Für Dentinläsionen betrug die Sensitivität 89% und die Spezifität 92%. *Wenzel et al.* [1992] erhielten in einer Vergleichsstudie zur Diagnose der Okklusalkaries mit dem FOTI verglichen mit Röntgenaufnahmen bessere Ergebnisse für Karies auf D3-Niveau (äußerer Dentinbereich). Andererseits konnten *Cortes et al.* [2003] keine signifikanten Unterschiede ( $p > 0,05$ ) in der Diagnose der Okklusalkaries zwischen visueller, radiologischer und FOTI im Dentinbereich feststellen.

Im Jahre 1997 entwickelten *Keem* und *Elbaum* das DIFOTI (Digital Imaging Fiber Optic Transillumination, EOS, USA) durch Kombination von FOTI mit einer CCD-Kamera. Dabei wird das Licht, das die Zähne durchleuchtet, von einer CCD-(charge-coupled device) Kamera empfangen und in ein elektronisches Signal umgewandelt, das an einen Computer weitergeleitet wird. Das so entstandene Bild kann mit einer entsprechenden Software in Echtzeit auf dem Bildschirm bearbeitet und betrachtet werden. Das DIFOTI bietet durch die Möglichkeit der Speicherung auch den Vergleich mit Folgebefunden. In-vitro Studien von *Schneiderman et al.* [1997] mit dem DIFOTI ergaben für die Approximalkaries eine Sensitivität von 0,56 und eine Spezifität von 0,76. Für die Diagnose der Okklusalkaries lagen die Sensitivität und Spezifität bei 0,67 und 0,87, die Reproduzierbarkeit bei 0,52.

Auch in anderen Studien zur Untersuchung der Karies mittels DIFOTI wurden hohe Spezifitäten, aber niedrige Sensitivitäten sowohl für Approximal- als auch für Okklusalfächen erhalten [Bader et al., 2002; Yang et al., 2005; Pretty, 2006]. So kommen einige Studien zu dem Ergebnis, dass mithilfe von DIFOTI-Aufnahmen lediglich

Demineralisationen im Approximalbereich bereits im Initialstadium sichtbar sind, aber die Ausdehnung der kariösen Läsion in die Tiefe nicht beurteilt werden kann [Schneiderman et al., 1997; Young et al., 2005]. Eine neuere in-vitro Studie von *Astvaldsdottir et al.* [2012] und eine in-vivo Studie von *Bin-Shuwaish et al.* [2008] aber zeigen, dass eine gute Korrelation von DIFOTI mit der klinischen Situation und somit ein Informationsgewinn gegenüber Röntgenaufnahmen vorliegt.

Bereits zu Beginn des 21. Jahrhunderts wurden einige Untersuchungen mittels Transillumination mit Nahinfrarotlicht ( $\lambda = 1320\text{nm}$ ) gemacht, die besonders für die beginnende Schmelzkaries an Approximal- und Okklusalfächen höhere Sensitivitäten zeigten als Röntgenbilder [Jones et al., 2003; Traanaeus et al., 2005; Fried et al., 2010].

Auch bei dem neu entwickelten Kamerasystem DIAGNOcam (Firma KaVo, Biberach) wird Nahinfrarotlicht mittels eines flexiblen Leiters zuerst durch Gingiva, Knochen und Periost emittiert, durch die prismatischen Strukturen des Zahnes nach okklusal transportiert und anschließend mit der Kamera aufgezeichnet, die die digitalen Informationen an einen Computer mit entsprechender Software weiterleitet. Eine aktuelle in-vivo Studie von *Söchtig et al.* [2014] zeigte, dass das DIAGNOcam eine gute Methode ist, Approximalkaries und Okklusalkaries zu visualisieren.

## 2.2.4 Elektrische Widerstandsmessung

Das Prinzip der Kariesdiagnose mittels elektrischer Widerstandsmessung beruht auf der Tatsache, dass Schmelz ein guter Isolator ist. Diese Eigenschaft geht mit zunehmender Demineralisation verloren, da sich in die entstandenen Porositäten Wasser einlagert, das die Leitfähigkeit der Zahnhartsubstanz erhöht [Lussi et al., 1995].

Zur Untersuchung der Okklusalkaries wird eine Messelektrode, die die Form einer zahnärztlichen Sonde hat, in die zu untersuchende Fissur eingebracht. Um den Stromkreis zu schließen, wird eine Referenzelektrode an der Wange des Patienten angebracht. Die so quantitativ gemessenen Werte werden den Herstellerangaben entsprechend ausgewertet.

Frühere Geräte, die zur Kariesdiagnose mittels elektrischer Widerstandsmessung entwickelt wurden, wie der Electronic Caries Monitor III (ECM, Lode Diagnostics, Groningen, Niederlande) und das Cariometer 800 (CRM, Universität Marburg, Deutschland), arbeiten mit einer festgelegten Stromstärke und definierter Frequenz, die vom Hersteller voreingestellt ist. In zahlreichen Untersuchungen wurden die Sensitivität, Spezifität und Reproduzierbarkeit dieses Verfahrens ermittelt. Die Ergebnisse sind sehr unterschiedlich. *Rickets et al.* [1995a] erhielten bei der Erkennung initialer Fissurenkaries mittels elektrischer Widerstandsmessung

eine Sensitivität von 0,81 und eine Spezifität von 0,78. *Ekstrand et al.* [1997] ermittelten für das ECM Sensitivitätswerte zwischen 82% und 95% und Spezifitätswerte zwischen 82% und 87%. In einer in-vitro Studie von *Kühnisch et al.* [2006b] wurden das ECM III (Lode Diagnostics, Niederlande) und das Cariometer 800 verglichen. Zwischen den beiden Geräten wurden keine Unterschiede bezüglich der diagnostischen Güte registriert. Die Ergebnisse lieferten niedrige Sensitivitäten zwischen 0,36 und 0,51 und hohe Spezifitäten zwischen 0,84 und 0,97. Der Grund für die unterschiedlichen Werte könnten minimale physikalische Veränderungen im Schmelz sein (z.B. Mineralgehalt, Porositäten, Wassergehalt und Temperatur), die große Messwertschwankungen verursachen können [Longbottom und Huysmans, 2004]. Zur Interpretation der Messwerte empfehlen *Schulte und Pieper* [1997] den Einfluss der Schmelzreifung mit zu berücksichtigen, da die posteruptive Schmelzreifungsphase eine Zunahme des elektrischen Widerstands bewirkt.

*Kühnisch et al.* [2006b] hoben außerdem für die klinische Anwendung die Problematik hervor, dass die Sonde des CRM-Gerätes („Papillare“) im Vergleich zur zahnärztlichen Sonde deutlich spitzer geformt ist und daher Provokationen von Oberflächendefekten nicht ausgeschlossen werden. Unzureichende Reproduzierbarkeit und Akkuratheit unter in-vitro Bedingungen führten dazu, dass sie den klinischen Einsatz dieses Verfahrens zur Diagnose der Okklusalkaries nur eingeschränkt empfehlen. Die elektrische Widerstandsmessung sollte nicht unabhängig von der klinischen-röntgenographischen Untersuchung erfolgen.

Die neueste Entwicklung und das seit 2010 verfügbare Gerät ist der Messsensor CarieScan Pro™ (CarieScan Ltd., Dundee, UK). Es basiert auf der „Alternating Current Impedance Spectroscopy Technique“ (ACIST). Die Frequenz des emittierten Wechselstroms ist im Gegensatz zu früheren Geräten variabel und kann in verschiedene Tiefen des Zahnes eindringen. Das gemessene Impedanzspektrum wird mit einer geeigneten Software analysiert. Der Sensor zeigt die Tiefe der Läsion über eine Farbkodierung (von grün nach rot) und einem Zahlenwert (0 bis 100) an. Diese Informationen können zur Karies-Monitoring via Bluetooth an einen Rechner übertragen werden. Untersuchungen von *Longbottom et al.* [2007] zeigten, dass mit diesem Verfahren Initialläsionen in Fissuren und auf Glattflächen (D1-Niveau) besser entdeckt werden als mittels visueller Untersuchung (ICDAS), Bissflügelaufnahmen oder Laserfluoreszenz-Verfahren. Sensitivität und Spezifität für das D1-Niveau lagen für Okklusallflächen bei 0,97 und 0,93. Für die Glattflächen lagen sowohl Sensitivität als auch Spezifität sogar bei 100%. Auch *Mortensen et al.* [2014] konnten in ihrer in-vitro Studie eine hohe Spezifität von 0,98 für das D3-Niveau ermitteln, die Sensitivität lag aber lediglich bei

0,05 (Schwellenwert 90). Für sie verdeutlicht die sehr niedrige Sensitivität das hohe Risiko, dass Dentinkaries unentdeckt bleibt, wenn man sich nur auf dieses Verfahren verlässt.

In einer aktuellen in-vivo Studie von *Jablonski-Momeni und Klein* [2014c] wurden für die Dentinkaries eine moderate Sensitivität von 0,68 und eine hohe Spezifität von 0,91 mit dem CarieScan Pro™ ermittelt. Schmelzläsionen wurden aufgrund des Studiendesigns nicht validiert.

Bei der Verwendung der ACIST ist jedoch das Alter des Patienten zu berücksichtigen. Bei älteren Patienten kommt es durch Apposition von Peritubulardentin zur Verschmälerung der Dentintubuli und somit zur Erhöhung des Gesamtwiderstandes [Elderrat et al., 2010]. Bei jüngeren Patienten beeinflusst die posteruptive Schmelzreifung die Messwerte.

*Teo et al.* [2014] zeigten in ihrer in-vivo und in-vitro Studie an Milchzähnen, dass die physiologischen Unterschiede zwischen beiden Dentitionen ebenfalls die Messergebnisse beeinflussen.

### **2.2.5 Kariesdiagnose mittels Laserfluoreszenz**

Für die Kariesdiagnose mittels Laserfluoreszenz wird eine Laserdiode, welche rotes Licht einer Wellenlänge von 655nm emittiert, auf die zu untersuchende Zahnfläche gehalten. Ein Teil des Lichts wird von fluoreszierenden Molekülen absorbiert und führt zur Emission von langwelligerem Fluoreszenzlicht. Da gesunder Zahnschmelz deutlich weniger fluoresziert als eine kariöse Läsion, kann durch die Messung des vom Zahn emittierten Fluoreszenzlichts Aussage über die Ausdehnung der Karies gemacht werden. Untersuchungen von *König et al.* [1998] sowie *Buchalla et al.* [2008] zeigten, dass in kariösen Läsionen Porphyrinderivate, bakterielle Stoffwechselprodukte, für die Fluoreszenz verantwortlich sind.

Das Laserfluoreszenzgerät DIAGNOdent 2095 und seine Weiterentwicklung, das DIAGNOdent Pen 2190 (KaVo, Biberach), enthalten in ihren Detektionsspitzen neben Fasern, die das Anregungslicht aussenden, konzentrisch angeordnete Fasern zur Detektion des vom Zahn emittierten Fluoreszenzlichts, die zu einer Fotodiode führen. Ein Empfangsfilter, das nur Licht mit einer Wellenlänge von mehr als 680nm durchlässt, blockiert das Anregungslicht sowie kurzwelligere Streustrahlen. Das Gerät zeigt zwei Messwerte, den Peak-Wert und den momentanen Wert, in relativen Einheiten von 0-99 an. Der Peak-Wert gibt den Maximalwert an, der an der kariösen Läsion gemessen wurde. Der momentane Anzeigewert zeigt den aktuellen Wert der Läsion an. Vor der Untersuchung sollten die Zähne gründlich gereinigt und getrocknet werden, um Verfälschungen der Messergebnisse durch Speisereste, Verfärbungen, Zahnstein oder Plaque durch ihre Eigenfluoreszenz zu vermeiden [Lussi et al.,

2003]. Ebenfalls werden die Werte durch verbleibende Zahnpasta und Reinigungspulver [Lussi et al., 2005] und Austrocknung des Zahnes [Mendes et al., 2006] beeinflusst. Außerdem muss, um den Einfluss der individuellen Eigenfluoreszenz des Schmelzes zu vermindern, das Gerät vor der Messung an intaktem Schmelz kalibriert werden. Hierfür wird die Fluoreszenz an einer gesunden Zahnoberfläche ermittelt und bei der Messung an den eigentlichen Messpunkten abgezogen.

Es wurden zahlreiche in-vitro und in-vivo Studien seit der Markteinführung beider Geräte durchgeführt. Übersichtsarbeiten von *Bader et al.* [2004] sowie *Lussi et al.* [2004] zeigten für die Kariesdiagnose mittels DIAGNOdent bei bleibenden Molaren Sensitivitäten zwischen 0,19 und 1,00 und Spezifitäten zwischen 0,50 und 1,00. Die große Varianz dieser Werte wird durch die Verwendung unterschiedlicher cut-off Punkte erklärt [Braga et al., 2007], aber auch durch die oben erwähnten Fehlerquellen [Braga et al., 2010a]. Die Intra-Untersucher Reproduzierbarkeiten lagen zwischen  $\kappa = 0,75$  und  $\kappa = 0,93$  im substantiellen bis fast perfekten Bereich [Lussi et al., 2004]. Auch viele Vergleichsstudien wurden mittels DIAGNOdent zur Untersuchung der Okklusalkaries durchgeführt. In einer in-vitro Vergleichsstudie an 119 Okklusalfächen bleibender Zähne von *Rodrigues et al.* [2008] wurden für das DIAGNOdent Sensitivitäts- und Spezifitätswerte von 0,51 und 0,89 ermittelt. Die Intra-Untersucher Reproduzierbarkeit lag für das ungewichtete Kappa bei  $\kappa = 0,60$  und für die Inter-Untersucher Reproduzierbarkeit bei  $\kappa = 0,58$ . Der Rangkorrelationskoeffizient mit der histologischen Untersuchung betrug  $r_s = 0,53$ . *Jablonski-Momeni et al.* [2010a] ermittelten eine Korrelation von  $r_s = 0,61$  zwischen DIAGNOdent und der visuellen Kariesdiagnose ICDAS-II.

Das DIAGNOdent Pen kann wegen eines zusätzlichen Aufsatzes neben der Diagnose der Karies in Fissuren und auf Glattflächen auch im approximalen Bereich angewendet werden.

Für das DIAGNOdent Pen zur Diagnose okklusaler Dentinkaries in-vitro ermittelten *Rodrigues et al.* [2008] eine Sensitivität von 0,78 und eine Spezifität von 0,56. Die Inter-Untersucher Reproduzierbarkeit betrug für das ungewichtete Kappa 0,55. Für die Intra-Untersucher Reproduzierbarkeit lag der ungewichtete Kappa-Wert bei 0,54. *Teo et al.* [2014] konnten in einer in-vivo und in-vitro Studie zwar nur moderate Reproduzierbarkeiten für das DIAGNOdent Pen feststellen, sehen die klinische Validität des Gerätes aber vergleichbar mit der von ICDAS-II. *Lussi* und *Hellwig et al.* [2006] verglichen in ihren Studien die Ergebnisse der Kariesdiagnose mittels DIAGNOdent und DIAGNOdent Pen und fanden keinen signifikanten Unterschied. Der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman zwischen

DIAGNOdent und DIAGNOdent Pen lag in einer Studie von *Jablonski-Momeni et al.* [2011a] mit  $r_s = 0,93$  im hohen Bereich.

*Kühnisch et al.* [2007a] zeigten in ihrer Vergleichsstudie, dass das DIAGNOdent Pen deutlich höhere Fluoreszenzwerte als das DIAGNOdent anzeigt. Daher empfehlen sie, die aus den gemessenen Werten resultierenden Therapieempfehlungen beider Geräte genau zu beachten.

### 2.2.6 Quantitative lichtinduzierte Fluoreszenz (QLF)

Bei der Kariesdiagnose mittels quantitativer lichtinduzierten Fluoreszenz wird heute die zu untersuchende Zahnoberfläche mit einer Xenon-Bogenlampe mit einer Wellenlänge von 290-450nm (Durchschnitt  $\lambda \sim 370\text{nm}$ ) beleuchtet und ein Band-Pass Filter (Hoya O-52,  $\lambda \geq 520\text{nm}$ ) verwendet. Das entstandene Bild wird von einer CCD-Kamera aufgenommen. Die Quantifizierung der Läsion erfolgt mithilfe einer speziellen QLF-Software.

Das physikalische Prinzip dieser Kariesdiagnosemethode beruht auf der unterschiedlichen Lichtstreuung und Fluoreszenz von gesunder und kariöser Zahnhartsubstanz. Innerhalb kariöser Läsionen wird das einfallende Licht aufgrund des Mineralverlusts und des damit verbundenen höheren Streuungsindex stärker gestreut und zusätzlich absorbiert. Letztlich ist die Intensität des Fluoreszenzlichts im kariösen Bereichen im Gegensatz zum benachbarten gesunden Gewebe wesentlich geringer.

Kommerziell erhältlich ist das Gerät QLF\clin (Inspektor Research Systems BV, Amsterdam, Niederlande) auf dem Markt. Die meisten Studien mittels QLF wurden derzeit an Glattflächen der Zähne durchgeführt. Zur Diagnostik der okklusalen Karies liegen bislang nur wenige Studien vor. Zahlreiche Studien mittels QLF zeigen eine hohe Sensitivität bei der Erfassung bereits geringer Demineralisation auf der Zahnoberfläche [Angmar-Mansson und ten Bosch, 2001; Shi et al., 2001; Tranaeus et al., 2001]. *Shi et al.* [2001] ermittelten eine hohe Sensitivität (94%) und Spezifität (100%) für die Detektion von Glattflächenkaries mit Dentinbeteiligung bei einem Grenzwert von 20% für den Fluoreszenzverlust. Für die Detektion von Okklusalkaries wurden Sensitivitäten zwischen 68% und 91% und Spezifitäten zwischen 70 und 91% ermittelt [Ifland et al., 2004; Kühnisch et al., 2006a]. Jedoch konnten *Pareira et al.* [2011] in einer in-vitro Vergleichsstudie an Okklusalfächen keinen signifikanten Unterschied zwischen der visuellen Kariesdiagnose und mittels QLF feststellen. Laut *Kühnisch et al.* [2007d] ist aufgrund des großen Zeitaufwandes und der hohen Anschaffungskosten des Gerätes der verbreitete Einsatz in zahnärztlichen Praxen derzeit nicht gegeben. Außerdem muss betont werden, dass QLF durch Faktoren wie Zahnstein [Shi et al.,

2001], Plaque, Fluorose oder Hypomineralisation [Diniz et al., 2012] beeinflusst werden kann und diese bei der Untersuchung mitberücksichtigt werden müssen.

### 2.2.7 Intraorale Fluoreszenzkamerasysteme

Seit Jahren ist eine rasante Weiterentwicklung der intraoralen Kamerasysteme zu verzeichnen. Verbesserungen der Bildqualität, aber auch die Funktionalität stehen hier im Vordergrund der Erneuerungen. Ein aktuelles, intraorales Kamerasystem ist das VistaCam iX (Dürr Dental, Bietigheim-Bissingen), das als Nachfolgemodell von VistaProof (Dürr Dental) gilt und fünf verschiedene Wechselköpfe bietet. Durch den austauschbaren Kopf ist es u.a eine konventionelle Intraoralkamera (Cam-Wechselkopf), dient aber auch als eine Fluoreszenzkamera (Proof-Wechselkopf), die zur Kariesdiagnose dient. Bei VistaProof bzw. dem Proof-Wechselkopf werden dabei die zu untersuchenden Zahnoberflächen mit Leuchtdioden, die blau-violettes Licht einer Wellenlänge von 405nm emittieren, bestrahlt. Das Licht dieser Wellenlänge (Soret-Bande) regt die verschiedenen Porphyrine kariogener Bakterien an, so dass sie energieärmeres rotes Licht emittieren. Im Gegensatz dazu sendet gesunde Zahnhartsubstanz grünes Licht aus. Das Fluoreszenzlicht wird von einem CCD-Sensor aufgezeichnet und an einen Computer weitergeleitet. Eine entsprechende Software (Dürr DBSWIN) wertet die Informationen aus und kann neben dem Fluoreszenzbild des Zahnes (von grün bis gelb) entsprechende Score-Werte (0-4 VistaProof, 0-3 VistaCam iX) definieren, die die Beurteilung der Kariestiefe zulassen. Neben der Visualisierung am TFT-Monitor ist auch eine Speicherung der Aufnahmen möglich.

Eine Studie von *Rodrigues et al.* [2008] mit einem Prototyp der VistaProof-Kamera ergaben eine Sensitivität von 0,86 und eine Spezifität von 0,89. Der ermittelte Intra-Untersucher ungewichtete Kappa-Wert betrug 0,61 und der Inter-Untersucher Kappa-Wert 0,58. *Jablonski-Momeni et al.* [2011a] untersuchten in einer in-vitro Studie die Okklusalfächen von 53 Zähnen mittels VistaProof. Die Sensitivität auf D1-Niveau (Schmelz und Dentinkaries) lag zwischen 0,71 und 0,86 und die Spezifität zwischen 0,32 und 0,76. Auf D3-Niveau (Dentinkaries) betrug die Sensitivität 0,04-0,91 und die Spezifität 0,56-0,99. Diese Werte lagen aufgrund der verschiedenen cut-off Werte so weit auseinander. Die ICC (Intraclass correlation coefficient) -Werte für die Intra- und Inter-Untersucher Reproduzierbarkeit waren hoch (0,76-0,81). Die Korrelation der Ergebnisse mit der histologischen Untersuchung lag im moderaten Bereich (0,47-0,55). In einer weiteren in-vitro Studie von *Jablonski-Momeni et al.* [2013] wurden die beiden Kameras VistaProof und VistaCam iX zur Untersuchung an Okklusalfächen bleibender Zähne verglichen. Eine hohe Korrelation ( $r_s = 0,85-0,90$ )

zwischen beiden Systemen konnte festgestellt werden. In-vivo konnten *Jablonski-Momeni et al.* [2014a] zeigen, dass die Kombination von visueller Untersuchung (ICDAS-II) und VistaProof-Messungen die Sensitivität auf 74,1% (D3-Niveau) steigert. Eine andere in-vivo Studie von *Stoll et al.* [2015] prüfte die Fähigkeit von VistaCam iX, die Kariesexkavation zu kontrollieren, im Vergleich zur visuellen Untersuchung und bakteriellen Evaluation. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass VistaCam iX ein nützliches System ist, um den Endpunkt der Kariesexkavation festzustellen.

Ein weiteres intraorales Fluoreszenzkamerasystem ist SoproLife (Firma Acteon Germany, Mettmann). Die Kamera kann sowohl im Tageslichtmodus (30- bis 100-fache Vergrößerung möglich), aber auch in zwei unterschiedlichen Fluoreszenzmodi betrieben werden. Bei den Fluoreszenzmodi wird die zu untersuchende Zahnoberfläche mit Licht der Wellenlänge 450nm ( $\pm 10$ nm) bestrahlt und das entsprechende Fluoreszenzbild vom CCD-Sensor einer Kamera aufgenommen. Fluoreszenzmodus 1 dient der Diagnostik kariöser Läsionen, Fluoreszenzmodus 2 unterstützt die Kariesexkavation. *Terrer et al.* [2010] konnten sowohl bei der Kariesdiagnose als auch bei der Kontrolle der Kariesexkavation signifikante Unterschiede in der Fluoreszenz von gesundem Dentin und aktiver sowie arretierter Karies beobachten: Grüne Fluoreszenz deutet auf gesundes Zahnhartgewebe hin, schwarz-grüne Fluoreszenz auf infiziertes Dentin, leuchtend-rote Fluoreszenz zeigt die Grenze zwischen infiziertem und arretiertem Dentin und säuregrüne Fluoreszenz deutet auf gesundes Dentin am Ende der Exkavation. Das Konzept, bei dem unterschiedliche Fluoreszenzen die Kariesdiagnose und -therapie unterstützen, wird als LIFE-D.T.-Konzept (Light Induced Fluoreszenz Evaluation-Diagnosis and Treatment) bezeichnet [Terrer et al., 2009 und 2010]. *Tassery et al.* [2009] empfehlen bei der Exkavation zusätzlich eine taktile Überprüfung des Kavitätenbodens, da auch Tertiärdentin rot erscheint. *Rechmann et al.* [2012] untersuchten in einer in-vivo Studie die Okklusalfächen von 433 Molaren der bleibenden Dentition mittels SoproLife-Tageslichtmodus und SoproLife-Fluoreszenzmodus 1 (Diagnosemodus) und verglichen diese mit den ICDAS-II Codes. Dabei ermittelten sie mit dem SoproLife-Tageslichtmodus für die ICDAS-II Codes 0-1-2 eine Sensitivität und Spezifität von 93% und 63% (cut-off Wert 1,54), sowie für AUROC  $0,8779 \pm 0,015$ . Für den SoproLife-Diagnosemodus ermittelten sie eine Sensitivität und Spezifität von 95% und 55% (cut-off Wert 1,52), sowie AUROC  $0,8854 \pm 0,014$ .



### 2.2.8 Histologische Untersuchung von Zahnhartschnitten als Goldstandard in der Kariesdiagnose

Vor dem klinischen Einsatz eines neuen Kariesdiagnoseverfahrens muss dieses, gemessen an einem Goldstandard, validiert werden. In der Kariesdiagnose gilt die histologische Beurteilung von Zahnhartschnitten üblicherweise als Goldstandard [Downer 1975, Huysmans und Longbottom, 2004]. In Studien werden zahlreiche Methoden zur Herstellung von Zahnhartschnitten beschrieben. Die einfachste Version ist die Halbierung der Zähne bzw. Zahnkronen an der zu untersuchenden Stelle. Alternativ werden Serienschritte hergestellt, deren Dicke zwischen 250 und 1000µm variiert. Bei der Herstellung der Zahnhartschnitte ist es notwendig, die Strukturen des Zahnes möglichst zu erhalten, um Veränderungen an Schmelz und Dentin genau untersuchen zu können. Auch die exakte Zuordnung des entsprechenden Zahnhartschnittes zum Messpunkt muss gewährleistet sein. *Jablonski-Momeni et al.* [2011b] beschrieben hierfür in ihrer Studie das genaue Vorgehen der dreidimensionalen Einbettung der Zähne vor der Herstellung der Serienschritte.

Zur Untersuchung dieser Zahnhartschnitte stehen verschiedene Methoden zur Verfügung. Neben der radiologischen Untersuchung der Zahnhartschnitte (Mikroradiographie) ist das Abscannen der Schnitte mit einem fokussierten Laserstrahl (Konfokale Laser-Scanning-Mikroskopie, CLSM) möglich [Ricketts et al., 1998; de Carvalho et al., 2008]. Sowohl *Rodrigues et al.* [2008] als auch *Diniz et al.* [2009] färbten in ihrer Studie die Zahnhartschnitte mit Rhodamin B an, wodurch kariöse Bereiche selektiv angefärbt und dargestellt wurden. Auch die Färbung mit Fuchsin/Säuregrün wird in einigen Studien gesehen [Lussi et al., 1993; Bjørndal et al., 1999]. In einer in-vitro Vergleichsstudie von *Rodrigues et al.* [2012] wurde die Okklusalkaries an 65 bleibenden Molaren mittels vier verschiedener histologischer Techniken untersucht: (1) Stereomikroskopie ohne Färbung, (2) Färbung mit Rhodamin B, (3) Färbung mit Fuchsin/Säuregrün und (4) semi-quantitative Mikroradiographie. Die gewichteten Kappa-Werte für die Intra-Untersucher Reproduzierbarkeit lagen für alle Methoden zwischen 0,62 und 0,78, wobei die beiden Färbemethoden eher höher lagen. Da in ihrer Studie die Methode mittels Stereomikroskop die Läsionen überbewertete, empfehlen sie eher Methoden mittels Färbung mit Rhodamin B bzw. Fuchsin/Säuregrün.

Die Untersuchung der Zahnhartschnitte unter dem Stereomikroskop kann unter Durchlicht oder Auflicht geschehen. Die Schnitte für die Durchlicht-Untersuchung dürfen jedoch nicht dicker als 100µm sein.

Für die Beurteilung der Kariesausdehnung in Zahnhartschnitten wird in der Regel die Klassifikation nach *Downer* [1975] oder *Ekstrand et al.* [1997] verwendet. Die Inter- und Intra-Untersucher Reproduzierbarkeit für die histologische Kariesdiagnose ist in Studien unterschiedlich angegeben. So gaben *Huysmans* und *Longbottom* [2004] für die Intra-Untersucher Reproduzierbarkeit Kappa-Werte zwischen 0,37 und 0,93 an, während *Jablonski-Momeni et al.* [2009a] gewichtete Kappa-Werte zwischen 0,80 und 0,86 (ungewichteter Kappa-Wert: 0,73 bis 0,79) erzielten. Die Inter-Untersucher Reproduzierbarkeiten lagen bei *Huysmans* und *Longbottom* [2004] zwischen 0,44 und 0,75, während der gewichtete Kappa-Wert bei *Jablonski-Momeni et al.* [2009a] zwischen 0,69 und 0,78 (ungewichteter Kappa-Wert: 0,58 bis 0,69) lag. Um die Untersuchung von Zahnhartschnitten in Multicenterstudien zu vereinfachen, untersuchten *Jablonski-Momeni et al.* [2009a] die Korrelation der direkten mikroskopischen Untersuchung mit der Betrachtung von Digitalaufnahmen derselben Zahnhartschnitte. Der Spearman-Korrelationskoeffizient lag mit 0,75 bis 0,84 im hohen Bereich. *Longbottom et al.* [2006] untersuchten in einer Vergleichsstudie an Milchmolaren die Kariesdiagnose mittels konventioneller histologischer Untersuchung und mittels Micro-CT. Der Korrelationskoeffizient lag bei  $r_s = 0,93$ .

### 3 Zielsetzung und Fragestellung

Das International Caries Detection and Assessment System (ICDAS-II) hat das Ziel, dieses Verfahren als eine standardisierte Methode in der Lehre, der Zahnarztpraxis und in epidemiologischen Studien einzusetzen [Pitts, 2004].

Daneben sollen die mit diesem System erhobenen Daten besser in Übersichtsarbeiten oder Meta-Analysen Eingang finden können und somit die Anforderungen der evidenzbasierten Zahnmedizin erfüllen [Richards, 2005].

Bisherige Studien zur Diagnose der okklusalen Karies zeigten für das ICDAS-II Verfahren gute bis sehr gute Intra- und Inter-Untersucher Reproduzierbarkeiten sowie eine klinisch akzeptable Sensitivität und Spezifität [Jablonski-Momeni et al., 2008a; Rodrigues, 2009; Diniz et al., 2009].

Um ein neues Diagnoseverfahren fest zu etablieren und schnell zu verbreiten, sollte es auch einem unerfahrenen Untersucher nach einer kurzen Unterweisung möglich sein, das neu erlernte Diagnoseverfahren gut und sicher anzuwenden.

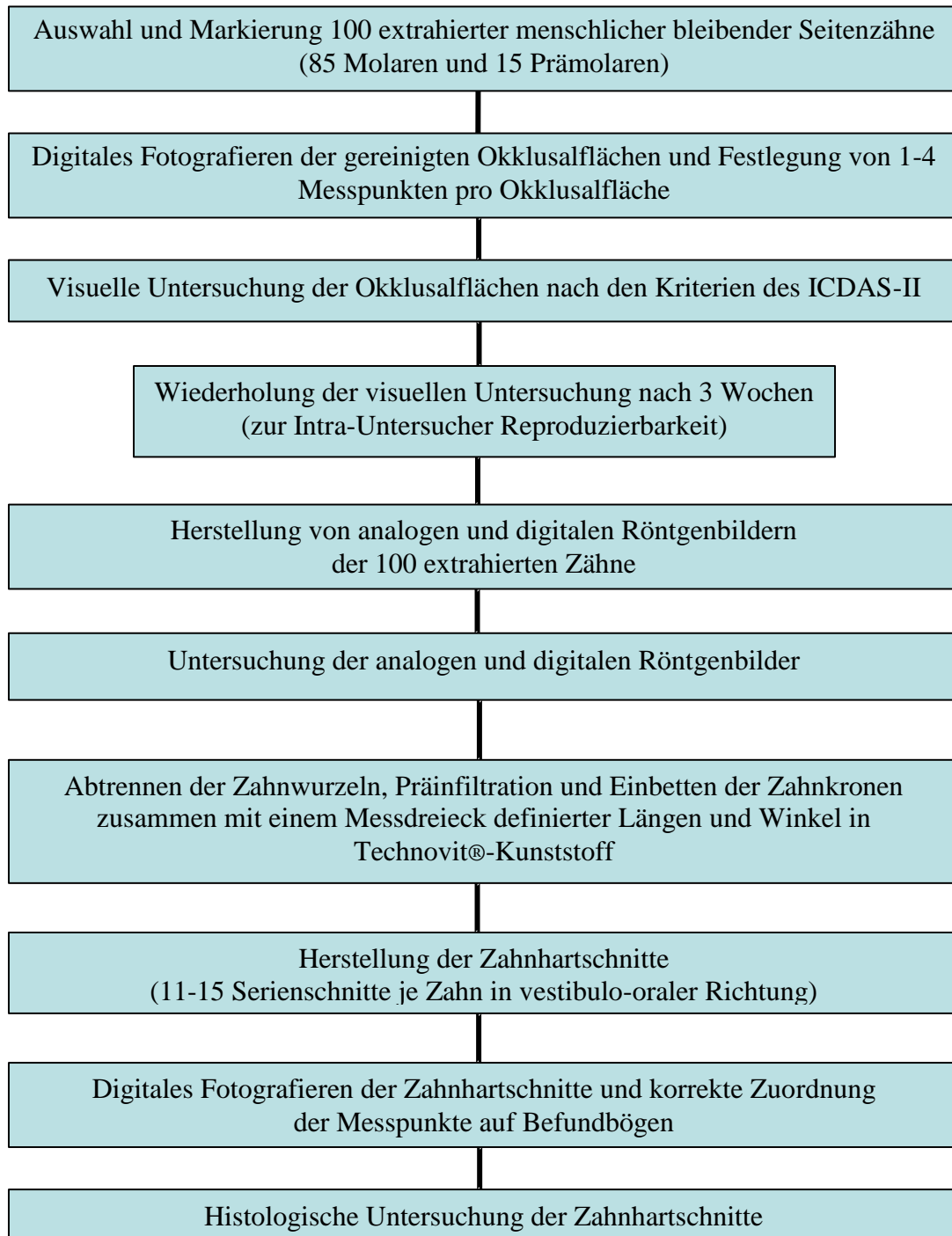
In diesem Zusammenhang sollten im Rahmen dieser Dissertation folgende Fragestellungen überprüft werden:

- Wie ist die Inter- und Intra-Untersucher Reproduzierbarkeit der visuellen Untersuchung nach ICDAS-II, die jeweils von einem erfahrenen und einem unerfahrenen Untersucher erhoben wurde?
- Wie korrelieren ICDAS-II Befunde, Befunde der analogen Radiographie und Befunde der digitalen Radiographie, jeweils für einen erfahrenen und einen unerfahrenen Untersucher?
- Wie korrelieren Befunde, die mit dem ICDAS-II erhoben wurden, mit den Ergebnissen von histologischen Untersuchungen? Wie unterscheiden sich die Ergebnisse von einem erfahrenen und einem unerfahrenen Untersucher?
- In welchem Bereich liegen die Sensitivität und die Spezifität des ICDAS-II für einen erfahrenen und unerfahrenen Untersucher, überprüft am Goldstandard Histologie?

## 4 Material und Methode

### 4.1 Versuchsdesign

Im Folgenden ist das Studiendesign schematisch dargestellt:



## 4.2 Material

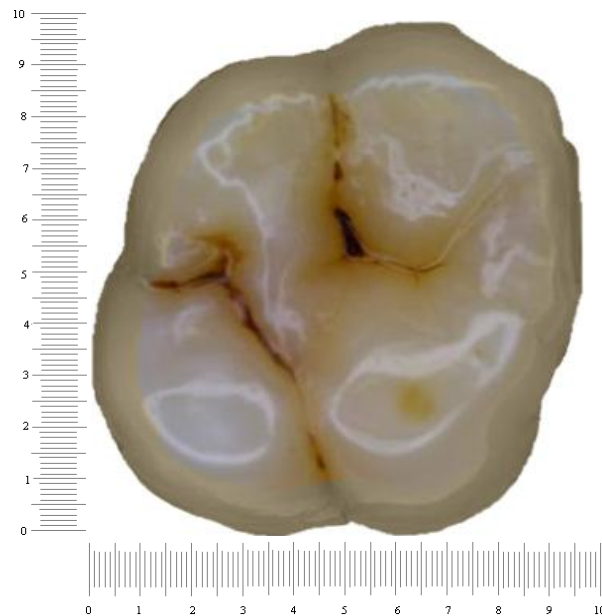
### 4.2.1 Auswahl der Zähne

Einhundert menschliche Seitenzähne der bleibenden Dentition (85 Molaren und 15 Prämolaren) wurden aus einem Pool von extrahierten und in gesättigter Thymol-Lösung gelagerten Zähnen ausgesucht und gereinigt (je nach Bedarf mit: Ultraschall, Prophyflex<sup>®</sup>, Zahnreinigungsbürstchen und Paste). Bei der Auswahl wurde darauf geachtet, dass die Zähne unterschiedliche kariöse Läsionen in den Fissuren und Grübchen aufweisen, wobei alle Stufen der Okklusalkaries – von gesund bis tiefe Kavität – vertreten waren.

### 4.2.2 Kodierung der Zähne

Die Zähne wurden an einer Glattfläche (vestibulär oder oral), die nicht in die Beurteilung involviert war, mittels eines rotierenden Instruments mit einer laufenden Nummer versehen. Die eingravierten Zahlen wurden mit einem wasserfesten Stift nachgezeichnet und die Zähne anschließend in Wasser gelagert.

Der Ausgangsbefund jeder Okklusalfäche sowie ein Glasmaßstab (10 cm) wurden mit einer digitalen Kleinbildkamera (Canon EOS D 30, Objektiv MP-E 65 mm) erfasst (Abb.4.1).



*Abb. 4.1: Okklusalfäche eines Zahnes mit einer Skizze der entsprechenden Koordinaten (Glasmaßstäbe)*

Je Okklusalfäche wurden durch einen Referenzuntersucher, der bei der Entwicklung des ICDAS-II beteiligt war, ein bis vier Messpunkte in den Fissuren und Grübchen festgelegt.

Daraus ergaben sich insgesamt 181 Messpunkte, die für die Untersucher zur Verfügung standen. Tabelle 4.1 zeigt die Anzahl der Zähne mit einem, zwei, drei und vier Messpunkten.

*Tab. 4.1: Verteilung der Messpunkte auf die Okklusalflächen der Zähne*

| <b>Anzahl der Messpunkte der Okklusalflächen</b> | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> |
|--|----------|----------|----------|----------|
| Anzahl der Zähne                                 | 33       | 54       | 12       | 1        |
| Summe der Messpunkte                             | 181      |          |          |          |

Für jeden Zahn wurde ein Dokumentationsbogen erstellt, der neben einer Abbildung der Okklusalfläche mit den entsprechenden Messpunkten Felder für die Dokumentation der Diagnosen enthielt (Anhang I). Der im gleichen Maßstab wie der Zahn reproduzierte Glasmaßstab wurde als x- und y-Achse eines Koordinatensystems eingefügt, um die Lokalisation der ausgewählten Messpunkte bestimmen zu können (Abb. 4.1). Schwarz-Weiß-Kopien der Abbildungen dienten während der Untersuchungen dazu, die Messpunkte an den jeweiligen Zähnen zu lokalisieren.

## **4.3 Methode**

### **4.3.1 Untersucher**

Diese in-vitro Studie wurde durch zwei Untersucher (Untersucher A und B) durchgeführt. Untersucher A war zum Zeitpunkt der Untersuchungen approbierte Zahnärztin mit 8 Jahren Berufserfahrung. Sie führte selbst zahlreiche Studien zu ICDAS-II durch [Jablonski-Momeni et al., 2008a und b, 2009b, 2010b, 2012b, 2014b]. Sie stand als Trainerin und Referenzuntersucherin für diese in-vitro Studie zur Verfügung. Untersucher B war zum Zeitpunkt der Untersuchungen im 10. Semester des Zahnmedizinstudiums.

### **4.3.2 Untersuchertraining**

Zu Beginn der Untersuchung wurde Untersucher B von Untersucher A durch ein theoretisches und praktisches Training in das ICDAS eingewiesen. Die verschiedenen ICDAS II-Codes und der Entscheidungspfad für ICDAS II (Anhang II) wurden anhand ca. 20 Makroaufnahmen von Okklusalflächen, die nicht mit in diese Studie einbezogen waren, erläutert. Dabei wurde herausgestellt, dass es für die klinische Diagnose bedeutend ist, die Zähne sowohl im feuchten als auch im trockenen Zustand zu untersuchen. Überdies wurde darauf hingewiesen, dass die Zähne vor der Untersuchung gereinigt werden müssen. Anhand von klinischen Bildern und

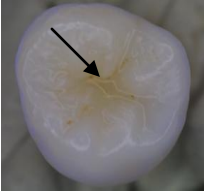

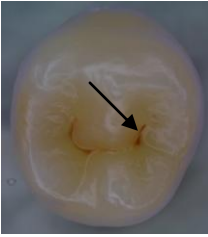
den damit korrespondierenden Zahnhartschnitten wurde demonstriert, dass kleinste subtile Veränderungen am Fissureneingang auf histologische Veränderungen hinweisen können.


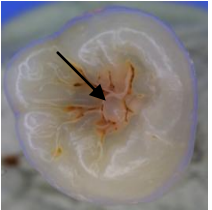

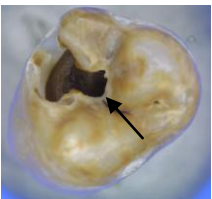
### 4.3.3 Visuelle Untersuchungen

Die visuellen Untersuchungen fanden im Phantom-Kurssaal bei standardisierter Beleuchtung statt. Die Zähne wurden von Untersucher A und B unabhängig voneinander in einer randomisierten Reihenfolge und den Kriterien des ICDAS II entsprechend untersucht. Die Befunde wurden direkt in die Dokumentationsbögen eingetragen (Anhang I). Um die Entscheidungsfindung zu systematisieren, wurde der Entscheidungspfad des ICDAS-II (Anhang II) herangezogen. Die in Wasser gelagerten Zähne wurden lediglich zur Befundung kurz aus dem Wasser genommen, zur Trocknung der Okklusalfäche wurde eine Multifunktionsspritze der zahnärztlichen Einheit benutzt. Eine WHO-Sonde konnte zur Feststellung einer Kavität zur Hilfe genommen werden.

Nach drei Wochen fand eine erneute visuelle Untersuchung der Zähne durch Untersucher A und B statt, um die Intra-Untersucher Reproduzierbarkeit der Diagnosen zu überprüfen. Es wurde darauf geachtet, dass genügend Zeit (ca. 5 min.) zur Rehydrierung der Zähne zwischen den Untersuchungen der beiden Befunder blieb, um etwaige Fehler dadurch auszuschließen. Die Kriterien des ICDAS-II Systems sind in der Tabelle 4.2 abgebildet:

*Tab. 4.2: Kriterien des ICDAS-II für die Diagnose der Okklusalkaries*

| ICDAS-II | Beschreibung   | Beispiel  |
|----------|--|---|
| Code 0   | Keine sichtbare Karies nach Trocknung im Luftstrom (ca. 5 s). Veränderungen wie Schmelzhypoplasie, Fluorose, Attrition, Abrasion, Erosion, intrinsische und extrinsische Verfärbungen werden ebenfalls mit 0 befundet.   |  |
| Code 1   | Erste visuelle Veränderungen in der Schmelzoberfläche, die erst nach Trocknung des Zahns sichtbar sind. Die Veränderungen können Opazitäten, weißliche oder bräunliche Verfärbung sein und sind auf Fissuren/Grübchen beschränkt.  |  |
| Code 2   | Deutliche visuelle Veränderungen in der Schmelz-Oberfläche bereits am feuchten Zahn, die sich wie folgt zeigen können: Opazitäten im Sinne einer White Spot Läsion und/oder bräunliche kariöse Verfärbungen in den Fissuren/Grübchen. Die Veränderungen müssen auch am getrockneten Zahn noch sichtbar sein. |  |

|        |  |   |
|--------|--|---|
| Code 3 | Demineralisation bzw. Verlust der Schmelzstruktur im Bereich der Fissuren, ohne sichtbares Dentin. Die Opazitäten und/oder bräunliche oder schwarze kariöse Veränderungen dehnen sich über die Grenze der Fissuren/Grübchen hinaus und sind auch nach Trocknung des Zahns sichtbar. Ggf. kann eine WHO-Sonde vorsichtig über den Schmelzdefekt geführt werden, um so die Diskontinuität der Schmelzoberfläche zu tasten. |    |
| Code 4 | Schattenbildung ausgehend vom kariösen Dentin. Die Schattenbildung ist am feuchten Zahn leichter zu diagnostizieren und kann gräulich, bläulich oder bräunlich sein.   |    |
| Code 5 | Deutliche Kavitätenbildung mit sichtbarem Dentin. Am getrockneten Zahn ist der Schmelzverlust am Eingang der Fissuren/Grübchen deutlich sichtbar. Ggf. kann die WHO-Sonde verwendet werden, um das freiliegende Dentin zu ertasten.  |    |
| Code 6 | Großflächige Kavitätenbildung, dabei ist das Dentin in der Breite und Tiefe des Zahns deutlich sichtbar. Mindestens die Hälfte der Schmelzoberfläche ist kariös zerstört, die Pulpa kann möglicherweise auch betroffen sein.   |  |

#### 4.3.4 Untersuchung der analogen Röntgenaufnahmen

Die Zähne wurden einzeln in orthograder Projektion von bukkal nach lingual analog geröntgt. Es wurden dabei Einzelfilme der Größe 3x4cm (Kodak Insight IP-21 Einzelfilme, Stuttgart) verwendet. Als Strahlungsquelle diente der Röntgenstrahler Oralix AC (Firma Gendex, Hamburg) am Wandstativ. Zur Simulation der absorbierenden und streuenden Wirkung der menschlichen Weichgewebsstrukturen wurde zwischen Tubus und Zahn eine 16mm dicke Beauty Pink Wachs-Platte platziert. An der distalen Fläche eines jeden Zahnes wurde mit Cyanacrylatklebstoff (Sekundenkleber Pattex, Henkel, Düsseldorf) eine Miniaturstahlkugel (Durchmesser 1,57mm, Fa. GRW Würzburg) angebracht, um die Zahnfilme zu kalibrieren und die Zähne von der richtigen Seite beurteilen zu können.

In Vorversuchen wurde eine geeignete Belichtungszeit mit den besten Ergebnissen in Kontrast und Bildrauschen ermittelt. Die Belichtungsdauer betrug demnach 12ms für die Prämolaren und 16ms für die Molaren bei konstanter Röhrenspannung von 65kV. Die Röntgenbilder wurden mit einem automatischen Entwicklungsautomaten (AC 245L Fa. Dürr-



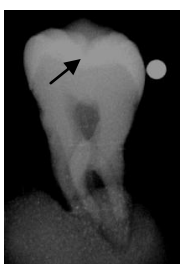




Dental, Bietigheim- Bissingen) entwickelt. Die analogen Röntgenbilder wurden an einem herkömmlichen Röntgenbetrachtungsgerät nach DIN 6856-3:2007-05 (Firma Dentsply, Rinn Co., Elgin, USA) betrachtet.

Für die Befundung wurde die röntgenologische Klassifizierung kariöser Läsionen nach Ekstrand et al. [1997] verwendet (siehe Tab.4.3).

#### 4.3.5 Untersuchung der digitalen Röntgenaufnahmen

Die digitalen Zahnfilmröntgenaufnahmen wurden auf Digora® Speicherfolien mit den Maßen 3x 4cm (Firma Gendex, Hamburg) hergestellt. Die Speicherfolien haben eine Auflösung von 592x444 Pixel mit einer Dateigröße von ungefähr 263 KByte. Für die Belichtung der Speicherfolien wurde das Gerät Oralix 65® (Firma Phillips Gendex, Hamburg) verwendet. In Vorversuchen wurde eine geeignete Belichtungszeit mit den besten Ergebnissen in Kontrast und Bildrauschen ermittelt. Die Belichtungsdauer betrug demnach 10ms für die Prämolaren und 12ms für die Molaren. Die Röhrenspannung betrug unveränderliche 65kV bei einer Stromstärke von 6,5mA. Die Speicherfolien wurden mit einem Scanner (Digora Optime, Firma Gendex, Hamburg) eingelesen. Die digitalen Bilder wurden an einem eigens für die Bildbetrachtung zugelassenen 18-Zoll Farbmonitor (FlexScan L768, EIZO, Avnet Technology Solutions GmbH, Nettetal) betrachtet. Auch hier erfolgte die röntgenologische Klassifizierung nach Ekstrand et al. [1997] (Tab.4.3).

Tab. 4.3: Radiologische Klassifizierung kariöser Läsionen [Ekstrand et al. 1997]

| Score   | Beispiel  | Score  | Beispiel   |  |   |
|---|---|--|--|--|---|
| 0:<br><br>keine<br>sichtbare<br>Radioluzenz               |  | 1:<br><br>Radioluzenz<br>im Schmelz<br>sichtbar                  |  |  |   |
| Score   | Beispiel  | Score  | Beispiel   | Score  | Beispiel  |
| 2:<br><br>Radioluzenz<br>im äußeren<br>1/3 des<br>Dentins |  | 3:<br><br>Radioluzenz<br>bis zum<br>mittleren 1/3<br>des Dentins |   | 4:<br><br>Radioluzenz<br>im pulpa-<br>nahen 1/3 des<br>Dentins |  |

### 4.3.6 Histologische Untersuchung

Nach den visuellen und röntgenologischen Untersuchungen wurden die klinischen Zahnkronen ca. 0,5mm unterhalb der Schmelz-Zement-Grenze abgetrennt und aufbereitet [Stachnis, 2005; Jablonski-Momeni und Stachniss, 2011]. In Tabelle 4.4 sind die einzelnen Schritte zur Herstellung der Zahnhartschnitte detailliert aufgeführt.

Von jedem Zahn wurden 11-15 Serienschnitte mit einer Dicke von 200µm ( $\pm 30$  µm) hergestellt und in speziellen Kästen aufbewahrt.

Das Protokoll zur Entwässerungs- und Infiltrationsreihe für die Zahnkronen sowie zur Herstellung der Zahnhartschnitte ist im Anhang aufgeführt (Anhang IV und V).

*Tab. 4.4: Methodik zur Herstellung der Zahnhartschnitte*

|  |  |
|--|--|
| Entwässerung der Proben in einer 5-stufigen Alkoholreihe: je 12 Stunden in Alkohol in aufsteigender Konzentration (%): 40, 60, 80, 100, 100  |  |
| Präinfiltration der Zähne in Alkohol/Acrylat (1:1) für 24 Std; Infiltration in Acrylat (Technovit 7200 VLC, Heraeus Kulzer) für 36 Std.  |  |
| Zweistufige Lichtpolymerisation (Histolux, Exakt) für 10 Std.  |  |
| 3-dimensional orientierte Montage der Kronen zusammen mit einem Messdreieck definierter Längen und Winkel (IbiClear PVC, 0,2 mm, Ibico, USA); Einbetten der Kronen in Acrylrohre mit lichthärtendem Acrylat (Technovit 7200 VLC) |  |
| Montage der Kronen auf eine Platte mit Acrylglas<br>3-dimensional orientiertes Schneiden mit einer Diamantband-Säge (Exakt) mit aufgeklebten Objektträgern der Größe 75x26x2mm   |  |
| Molaren in einer Schrittweite von 750 µm ( $\pm 30$ µm) mit einem 200 µm dicken Diamantband  | Prämolaren in einer Schrittweite von 500 µm ( $\pm 30$ µm) mit einem 100 µm dicken Diamantband |

Schleifen und Politur der histologischen Schnitte auf Karborund-Schleifpapier (Körnung 1,200, 2,400 und 4,000, Hermes) bis zu einer Präparatdicke von 200  $\mu\text{m}$  ( $\pm 30 \mu\text{m}$ ) (kontrolliert mit digitalem Mikrometer, Müller)

Eindecken der Präparate mit 135  $\mu\text{m}$  dicken Deckgläschen aus Mineralglas mit Technovit 7200 VLC und 7210 VLC

Um den 11-15 histologischen Schnitten pro Zahn den jeweiligen Messpunkt zuordnen zu können, spielte die exakte dreidimensionale Einbettung der Zahnkronen in die Acrylzyylinder (Acrylglas Halbzeuge, Firma Krüger, Hamburg) eine entscheidende Rolle:

Jede einzelne Zahnkrone wurde zunächst mit ihrer mesialen Approximalfläche auf einer Messplatte am Boden des Einbettzylinders fixiert. Anschließend wurde an der abgeschnittenen Wurzeloberfläche parallel zur Okklusalfäche ein aus blauer Folie (IbiClear PVC, 0,2mm, Firma Ibico, USA) bestehendes rechtwinkliges Messdreieck platziert, die mit ihrer Basis (a) zur mesialen Approximalfläche der Zahnkrone ausgerichtet war. Das Messdreieck hatte folgende Eigenschaften: Die Basis des Dreieckes war  $a = 9 \text{ mm}$  und die Höhe  $b = 18 \text{ mm}$ . Die Berechnung für den Steigungswinkel  $\beta$  war:  $\tan \beta = b/a = 18/9 = 2$ , somit war der Winkel  $\beta \sim 63,5^\circ$ .

Nach dem Schneiden der eingebetteten Zahnkronen in vestibulo-oraler Schnittrichtung enthielt jede Schnittebene neben dem Kronenabschnitt einen Ausschnitt aus dem Messdreieck in Form einer kleinen Farblinie. Diese im Präparat direkt messbare Länge ML ist ein indirektes Maß für die Höhe der Schnittebene über der Basis des Dreiecks und der Montagefläche des Zahnes. Zur Berechnung der Höhe H jedes Schnittes über der Montagefläche gilt die geometrische Beziehung:  $H/b = (a-ML)/a$ , woraus sich durch Auflösung nach H Folgendes ergibt:  $H = b \times (a-ML)/a$ . Durch das Einsetzen der bekannten Größen von a und b ergibt sich dann folgende Berechnung:

$$H = 18 \times (9-ML)/9 \text{ und damit } H = 2 \times (9-ML).$$

Auf diese Weise konnte sichergestellt werden, dass genau die histologischen Schnitte beurteilt wurden, die im Bereich der zu befundenden Messpunkte lagen (Abb. 4.2).

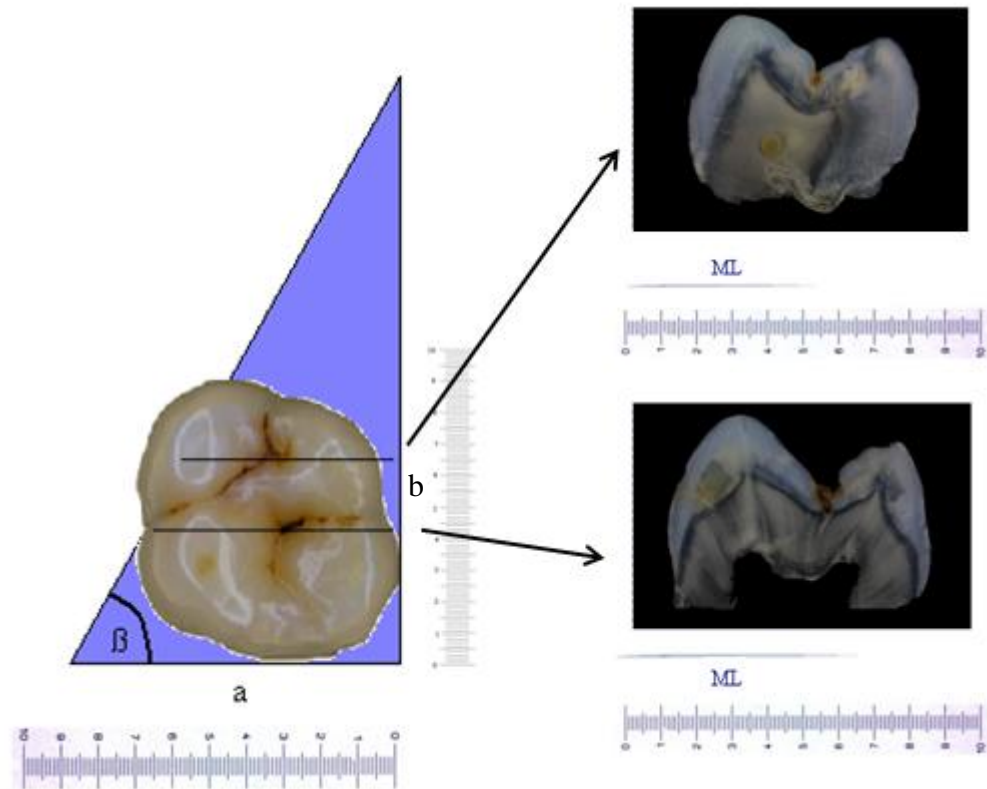

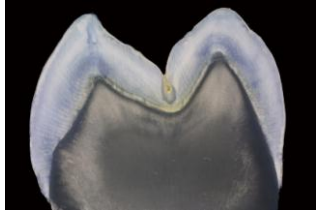
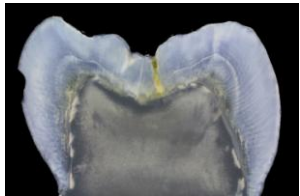
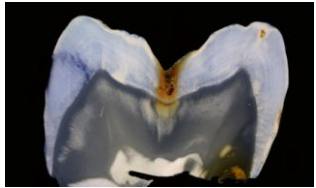
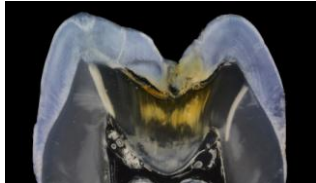


Abb. 4.2: Schematische Darstellung der Zuordnung der Zahnhartschnitte zur Zahnebene

Zu Beginn der histologischen Untersuchung erfolgte ein einstündiges Training von Untersucher B durch Untersucher A. Dabei wurde an digitalen Aufnahmen von Zahnhartschnitten, die nicht in der vorliegenden Studie verwendet wurden, die histologischen Klassifizierungen besprochen und geübt. Die Befundung der Zahnhartschnitte erfolgte durch Untersucher A und B unabhängig voneinander in einer randomisierten Reihenfolge unter dem Stereo-Makroskop (Stereo-Makroskop M 420, Firma Wild Heerbrugg AG, Schweiz) bei 16-facher Vergrößerung unter Auflicht. Als Index galten die von *Downer* [1975] genannten Kriterien (Tab.4.5).

Tab. 4.5: Kriterien der histologischen Untersuchung nach Downer 1975

| Score | Beschreibung   | Beispiel  |
|-------|--|---|
| 0     | Gesund   |    |
| 1     | Schmelzkaries, auf die äußere Schmelzhälfte beschränkt |    |
| 2     | Schmelzkaries, bis zur inneren Schmelzhälfte erweitert |    |
| 3     | Dentinkaries, auf die äußere Dentinhälfte beschränkt   |  |
| 4     | Dentinkaries, bis zur inneren Dentinhälfte erweitert   |  |

Jedem Messpunkt konnten 1-4 Schnitte zugeordnet werden. Für die histologische Untersuchung konnten 15 Messpunkte nicht beurteilt werden, da diese entweder beim Schneiden beschädigt worden bzw. verloren gegangen waren oder Schwierigkeiten bestanden, die Tiefe der Läsion zu bestimmen. Somit wurden 339 Zahnhartschnitte von 166 Messpunkten histologisch untersucht.

Dabei wurden bei 37 Messpunkten ein Hartschnitt, bei 91 Messpunkten zwei Hartschnitte, bei 32 Messpunkten drei und bei 6 Messpunkten vier Hartschnitte für die Beurteilung verwendet. Zunächst wurden alle korrespondierenden Zahnhartschnitte befundet und die Ausdehnung der Läsion erfasst. Sklerotisch verändertes Dentin wurde nicht in die Bewertung einbezogen. Für die statistischen Auswertungen wurde je Messpunkt das höchste Score, das bedeutet, die

tiefste Ausdehnung der Karies innerhalb der entsprechenden Schnitte, dokumentiert. Die Diagnosen wurden von beiden Untersuchern auf speziellen Belegbögen (Anhang VI) erfasst. Im Anschluss an die histologische Untersuchung der beiden Untersucher A und B wurden die unabhängigen Befunde miteinander verglichen. Lag eine Diskrepanz zwischen den Diagnosen vor, wurden die Zahnhartschnitte erneut gemeinsam untersucht und das Ergebnis diskutiert, bis Konsens erzielt wurde. Diese Konsens-Werte wurden als Goldstandard genommen.

#### **4.4 Dokumentation**

Zur Dokumentation der Diagnosen wurden geeignete Auswertungsbögen erstellt. Die Auswertungsbögen für die visuelle Untersuchung an den extrahierten Zähnen enthielten neben einer Abbildung der jeweiligen Okklusalfäche mit den zugehörigen Messpunkten Felder für die Diagnosen. Um die Lokalisation der ausgewählten Messpunkte bestimmen zu können, wurde ein im gleichen Maßstab wie der Zahn reproduzierter Glasmaßstab als x- und y-Achse eines Koordinatensystems eingefügt (Abb. 4.1). Die Auswertungsbögen wurden an die Untersucher ausgeteilt und während der Messung dazu benutzt, die Läsionen zu lokalisieren (Anhang I).

Die Untersuchung der okklusalen Karies an den analogen und digitalen Röntgenbildern der extrahierten Zähne erfolgte unabhängig voneinander. Die Befundbögen, jeweils getrennt für analoge und digitale Röntgenbilder, enthielten Tabellen zur Dokumentation der Röntgenscores (Anhang III).

Die Dokumentation der Diagnosen für die histologische Untersuchung an den Zahnhartschnitten erfolgte auf ähnlichen Befundbögen. Diese enthielten neben der Abbildung des Zahnhartschnittes geeignete Tabellen zur Dokumentation der Diagnosen. Der zu untersuchende Bereich war durch zwei vertikale Linien eingegrenzt (Anhang VI).

#### **4.5 Statistische Auswertung**

Die Daten wurden zunächst auf Befundbögen erfasst und danach in ein Tabellenkalkulationsprogramm (MSExcels®) übertragen. Zur statistischen Auswertung folgte ein Datentransfer von Excel in das Programm SPSS, Version 14.0.

Es wurden Cohens Kappa, der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman sowie Sensitivität und Spezifität berechnet.

### 4.5.1 Cohens-Kappa ( $\kappa$ )-Koeffizient

Der Cohens-Kappa-Koeffizient wurde berechnet, um die Übereinstimmung von Untersucher A und B (Inter-Untersucher Reproduzierbarkeit) und die Konstanz jedes einzelnen Untersuchers (Intra-Untersucher Reproduzierbarkeit) zu ermitteln.

Die Bewertung der Kappa ( $\kappa$ )-Werte erfolgte nach der Einteilung von *Landis und Koch* [1977] (Tab. 4.6).

Tab.4.6: Einteilung der Kappa ( $\kappa$ )-Werte nach Landis und Koch [1977]

| Werte des Korrelationskoeffizienten $\kappa$ | Interpretation                |
|--|-------------------------------|
| $0,00 < \kappa \leq 0,20$                    | geringe Übereinstimmung       |
| $0,21 < \kappa \leq 0,40$                    | ausreichende Übereinstimmung  |
| $0,41 < \kappa \leq 0,60$                    | moderate Übereinstimmung      |
| $0,61 < \kappa \leq 0,80$                    | substantielle Übereinstimmung |
| $0,81 < \kappa \leq 1$                       | fast perfekte Übereinstimmung |

Dabei wurden sowohl der einfache als auch der gewichtete Kappa-Koeffizient berechnet, wobei der gewichtete Kappa-Koeffizient für ordinale Skalen besser geeignet ist [Cohen, 1968]. Prinzip des gewichteten Kappa ist es, dass, wenn wie in unserem Falle Skalen-Werte zwischen 0 und 6 zur Verfügung stehen, eine Diskordanz zwischen den Werten 0 und 1 als weniger gravierend zu bewerten ist als eine Diskordanz zwischen 0 und 3 usw. .

Entsprechend weist man geringen Diskordanzen kleine Gewichte und starken Diskordanzen große Gewichte zu. Die Gewichtung wirkt sich wie folgt auf den Kappa-Wert aus: wenn die Abweichungen hauptsächlich aus geringer gewichteten Werten bestehen, ergibt sich ein höherer Kappa-Wert. Bestehen sie hauptsächlich aus stärker gewichteten Werten, resultiert ein niedriger Kappa-Wert.

Für die Berechnungen wurde der Cicchetti-Allison Weight mit dem Programm ComKappa (Version1.0, Copyright 1997 R, Bakeman & B.F. Robinson) verwendet (lineare Gewichtung).

### 4.5.2 Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman

Zur Überprüfung der Korrelation der unterschiedlichen Verfahren wurde der Korrelationskoeffizient nach Spearman verwendet. Der Korrelationskoeffizient  $r_s$  gibt die Stärke des Zusammenhangs zwischen den Verfahren mit einer Maßzahl an. Symbol für den Korrelationskoeffizient ist  $r_s$ , der Werte zwischen -1 und +1 einnimmt, wobei ein Betrag nahe

+1 einen starken und ein Betrag nahe 0 einen schwachen Zusammenhang bedeutet. Ein negativer Korrelationskoeffizient bedeutet einen gegenläufigen Zusammenhang. Zur Interpretation des Korrelationskoeffizienten  $r_s$  wurden folgende Abstufungen nach *Rickets et al.* [1998] verwendet:

Tab.4.7: Interpretation des Korrelationskoeffizienten nach *Rickets et al.*[1998]

| Werte des Korrelationskoeffizienten $r_s$ | Interpretation       |
|---|----------------------|
| $0,00 < r_s \leq 0,30$                    | geringe Korrelation  |
| $0,31 < r_s \leq 0,70$                    | moderate Korrelation |
| $0,71 < r_s \leq 1,0$                     | hohe Korrelation     |

### 4.5.3 Sensitivität und Spezifität

Die Sensitivität ist die Fähigkeit eines diagnostischen Verfahrens, Zähne mit einer fraglichen Erkrankung als erkrankt zu erkennen. Die Angabe der Sensitivität in Prozent ist der prozentuale Anteil der korrekt positiven Diagnosen an der Gesamtzahl der erkrankten Zähne. Die Sensitivität berechnet sich wie folgt:

$$\text{Sensitivität [\%]} = \frac{\text{richtig positiv}}{\text{richtig positiv} + \text{falsch negativ}}$$

Die Spezifität ist die Fähigkeit eines diagnostischen Verfahrens, Zähne ohne Erkrankung als gesund zu erkennen. Die Spezifität in Prozent ist der Anteil der korrekt negativen Diagnosen an der Gesamtzahl der gesunden Zähne. Die Spezifität berechnet sich wie folgt:

$$\text{Spezifität [\%]} = \frac{\text{richtig negativ}}{\text{richtig negativ} + \text{falsch positiv}}$$

Für die visuellen Untersuchungen erfolgte die Ermittlung der Sensitivität und Spezifität unter zwei Bedingungen:

1. Karies auf D1 Niveau: Schmelz und Dentinläsionen wurden dabei zusammengefasst [Fyffe et al., 2000b]. Der histologische Score 0 wurde als gesund und die Scores 1-4 wurden als erkrankt eingestuft.



2. Karies auf D3 Niveau (Dentinkaries): Dabei wurden die histologischen Scores 3-4 als Dentinkaries eingestuft.

### **Receiver Operating Characteristic Curve (ROC-Kurve)**

Die ROC-Kurve stellt eine graphische Gegenüberstellung der Spezifität und Sensitivität dar. Die Gegenüberstellung der Spezifität und der Sensitivität spielt in vielen Entscheidungsprozessen eine Rolle [Harms, 1992]. Spezifität und Sensitivität sind Maße, die von einem cut-off point (Schwellenwert) abhängig sind. Ein cut-off point legt einen Wert fest, ab welchem ein bestimmtes Ereignis klar definiert ist (z.B. Krankheit oder Gesundheit). Jedem cut-off point sind eindeutige Werte für Sensitivität und die Spezifität zugeordnet. Wenn man nun zu den jeweiligen cut-off points die Sensitivität (Anteil der richtig positiven Ergebnisse) gegen 1-Spezifität (Anteil der falsch positiven Ergebnisse) in ein Koordinatensystem einträgt und diese Punkte miteinander verbindet, entsteht die sogenannte ROC-Kurve [Weiß, 2010].

Die Güte eines diagnostischen Tests lässt sich durch die Fläche unter der ROC-Kurve (engl. AUC= area under the curve ) quantifizieren. Diese kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen. Eine AUC von 0,5 besagt, dass der diagnostische Test nicht besser ist als zufällige Zuweisung „krank“ oder „gesund“. In diesem Fall entspricht die ROC-Kurve der Diagonale, die sich von der linken unteren bis zur rechten oberen Ecke erstreckt.

## 5 Ergebnisse

### 5.1 Inter-Untersucher Reproduzierbarkeit der visuellen Untersuchung nach ICDAS-II von Untersucher A und B

Die visuelle Untersuchung erfolgte durch Untersucher A und B unabhängig voneinander entsprechend den Kriterien des ICDAS-II für die Diagnose der okklusalen Karies (Tab.4.2). Um die Übereinstimmung der visuellen Untersuchung nach ICDAS-II von Untersucher A und B zu untersuchen, wurden der einfache und gewichtete Kappa-Wert, sowie der 95% Konfidenzintervall ermittelt, die in Tabelle 5.1 aufgeführt sind:

*Tab. 5.1: Inter-Untersucher Reproduzierbarkeit der visuellen Untersuchung nach ICDAS-II von Untersucher A und B*

|  | <b>Einfacher Kappa-Wert<br/>(95% Konfidenzintervall)</b> | <b>Gewichteter Kappa-Wert<br/>(95% Konfidenzintervall)</b> |
|--|--|--|
| <b>Visuelle Untersuchung<br/>nach ICDAS-II<br/>(Untersucher A und B)</b> | 0,36<br>(0,27-0,45)                                      | 0,63<br>(0,56-0,70)  |

Aus Tabelle 5.1 wird ersichtlich, dass der einfache Kappa-Wert für die visuelle Untersuchung nach der Einteilung von *Landis* und *Koch* [1997] im ausreichenden Bereich und der gewichtete Kappa-Wert im substantiellen Bereich liegen.

### 5.2 Intra-Untersucher Reproduzierbarkeit der visuellen Untersuchung nach ICDAS-II von Untersucher A und B

Um die Konstanz der visuellen Untersuchung nach ICDAS-II für Untersucher A und B zu ermitteln, wurden nach drei Wochen alle Messpunkte der extrahierten Zähne von beiden Untersuchern erneut visuell untersucht.

Die entsprechenden Kappa-Werte dieser erneuten Befundung zeigt die folgende Tabelle 5.2:

*Tab.5.2: Intra-Untersucher Reproduzierbarkeit der visuellen Untersuchung nach ICDAS-II für Untersucher A und B*

|                      | <b>Einfacher Kappa-Wert<br/>(95% Konfidenzintervall)</b> | <b>Gewichteter Kappa-Wert<br/>(95% Konfidenzintervall)</b> |
|----------------------|--|--|
| <b>Untersucher A</b> | 0,67<br>(0,59-0,75)                                      | 0,83<br>(0,78-0,88)  |

|                      | <b>Einfacher Kappa-Wert<br/>(95% Konfidenzintervall)</b> | <b>Gewichteter Kappa-Wert<br/>(95% Konfidenzintervall)</b> |
|----------------------|--|--|
| <b>Untersucher B</b> | 0,53<br>(0,44-0,62)                                      | 0,72<br>(0,66-0,79)  |

Aus der Tabelle wird ersichtlich, dass für Untersucher A der einfache Kappa-Wert im substantiellen Bereich, der gewichtete Kappa-Wert sogar im fast perfekten Bereich liegt.

Für Untersucher B liegt der einfache Kappa-Wert im moderaten Bereich, der gewichtete Kappa-Wert im substantiellen Bereich.

### 5.3 Reproduzierbarkeit der analogen Radiographie

Nach der visuellen Untersuchung wurden die analogen Röntgenbilder der extrahierten Zähne von Untersucher A und B unabhängig voneinander untersucht.

Die Kreuztabelle 5.3 zeigt die Ergebnisse der Befundung der analogen Röntgenbilder von beiden Untersuchern nach der Klassifizierung von *Ekstrand et al.* [1997].

Tab.5.3: Kreuztabelle der Befunde der analogen Radiographie (Untersucher A und B)

|  |                              | <b>Röntgen Scores (analog)<br/>Untersucher A</b> |          |          |          |          |                              |               |
|--|------------------------------|--|----------|----------|----------|----------|------------------------------|---------------|
|  |                              | <b>0</b>   | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>Nicht<br/>beurteilbar</b> | <b>Gesamt</b> |
| <b>Röntgen<br/>Scores<br/>(analog)<br/>Untersucher<br/>B</b> | <b>0</b>                     | 20   | 4        | 4        | -        | -        | -                            | 28            |
|  | <b>1</b>                     | 18   | 20       | 6        | -        | -        | 1                            | 45            |
|  | <b>2</b>                     | 6  | 18       | 30       | 1        | -        | -                            | 55            |
|  | <b>3</b>                     | 4  | 4        | 9        | 11       | 3        | 1                            | 32            |
|  | <b>4</b>                     | 1  | 2        | 1        | 2        | 8        | 2                            | 16            |
|  | <b>Nicht<br/>beurteilbar</b> | 1  | 2        | -        | -        | -        | 2                            | 5             |
|  | <b>Gesamt</b>                | 50   | 50       | 50       | 14       | 11       | 6                            | 181           |

Die in Tabelle 5.3 orange markierten Werte zeigen die Anzahl der Messpunkte an, die von Untersucher A und B mit den gleichen Röntgen Scores befundet wurden.

Zur Untersuchung der Inter-Untersucher Reproduzierbarkeit wurden aus diesen Ergebnissen die einfachen und gewichteten Kappa-Werte, sowie der 95% Konfidenzintervall berechnet, die in Tab. 5.4 zusammenstellt sind.

Tab. 5.4: Inter-Untersucher Reproduzierbarkeit der analogen Radiographie

|   | <b>Einfacher Kappa-Wert<br/>(95% Konfidenzintervall)</b> | <b>Gewichteter Kappa-Wert<br/>(95% Konfidenzintervall)</b> |
|---|--|--|
| <b>Analoge Radiographie<br/>(Untersucher A und B)</b> | 0,36<br>(0,27-0,46)                                      | 0,43<br>(0,33-0,52)  |

Aus Tabelle 5.4 erkennt man Folgendes: Die Übereinstimmung der Ergebnisse der analogen radiologischen Untersuchung von Untersucher A und B sind als ausreichend bzw. entsprechend der gewichteten Kappa-Werte als moderat zu bewerten.

## 5.4 Reproduzierbarkeit der digitalen Radiographie

Neben analogen Röntgenbildern wurden digitale Röntgenbilder der extrahierten Zähne angefertigt. Tabelle 5.5 zeigt die Kreuztabelle der Befunde der digitalen Radiographie von Untersucher A und B nach der Klassifizierung von *Ekstrand et al.* [1997].

Tab.5.5: Kreuztabelle der Befunde der digitalen Radiographie (Untersucher A und B)

|   |                              | <b>Röntgen Scores (digital)<br/>Untersucher A</b> |          |          |          |          |                              |               |
|---|------------------------------|---|----------|----------|----------|----------|------------------------------|---------------|
|   |                              | <b>0</b>  | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>Nicht<br/>beurteilbar</b> | <b>Gesamt</b> |
| <b>Röntgen<br/>Scores<br/>(digital)<br/>Untersucher<br/>B</b> | <b>0</b>                     | 42  | 23       | 11       | -        | -        | 2                            | 78            |
|   | <b>1</b>                     | 8   | 4        | 5        | 1        | -        | 1                            | 19            |
|   | <b>2</b>                     | 14  | 8        | 25       | 1        | 1        | 2                            | 51            |
|   | <b>3</b>                     | 1   | 3        | 4        | 6        | 3        | -                            | 17            |
|   | <b>4</b>                     | -   | 2        | 2        | 2        | 5        | -                            | 11            |
|   | <b>Nicht<br/>beurteilbar</b> | 1   | -        | 1        | -        | -        | 3                            | 5             |
|   | <b>Gesamt</b>                | 66  | 40       | 48       | 10       | 9        | 8                            | 181           |

Zur Untersuchung der Inter-Untersucher Reproduzierbarkeit wurden aus diesen Ergebnissen die einfachen und gewichteten Kappa-Werte, sowie der 95% Konfidenzintervall berechnet, die in Tab. 5.6 zusammenstellt sind.

Tab. 5.6: Inter-Untersucher Reproduzierbarkeit der digitalen Radiographie

|  | <b>Einfacher Kappa-Wert<br/>(95% Konfidenzintervall)</b> | <b>Gewichteter Kappa-Wert<br/>(95% Konfidenzintervall)</b> |
|--|--|--|
| <b>Digitale Radiographie<br/>(Untersucher A und B)</b> | 0,28<br>(0,18-0,38)                                      | 0,33<br>(0,22-0,43)  |

Aus Tabelle 5.6 erkennt man Folgendes: Die Übereinstimmung der Ergebnisse der digitalen radiologischen Untersuchung von Untersucher A und B sind als ausreichend zu bewerten.

### 5.5 Korrelation zwischen den visuellen Befunden und den Befunden der analogen Radiographie

Der Korrelationskoeffizient nach Spearman-Rho zwischen den visuellen Befunden (ICDAS-II) und den Befunden der analogen Radiographie betrug für Untersucher A  $r_s = 0,59$ . Dies entspricht nach *Rickets et al.* [1998] einer moderaten Korrelation.

Für Untersucher B betrug dieser Wert  $r_s = 0,53$ . Dies entspricht ebenfalls einer moderaten Korrelation.

### 5.6 Korrelation zwischen den visuellen Befunden und den Befunden der digitalen Radiographie

Um die Korrelation zwischen der visuellen Untersuchung und der digitalen Radiographie zu analysieren, wurde für Untersucher A und B ebenfalls der Spearman Korrelationskoeffizient berechnet. Dieser betrug für Untersucher A  $r_s = 0,56$  und entspricht einer moderaten Korrelation. Für Untersucher B betrug dieser Wert 0,42. Dies entspricht ebenfalls einer moderaten Korrelation.

### 5.7 Korrelation der visuellen und histologischen Befunde

In den Tabellen 5.7 und 5.8 sind die Ergebnisse der visuellen Untersuchung (ICDAS-II) den histologischen Befunden der Konsens-Entscheidungen (Klassifizierung nach *Downer* [1975]) jeweils für Untersucher A und B gegenübergestellt.

Tab.5.7: Kreuztabelle der visuellen und histologischen Befunde für Untersucher A

|   |        | ICDAS-II Codes<br>(Untersucher A) |    |    |    |    |    |   |        |
|---|--------|-----------------------------------|----|----|----|----|----|---|--------|
|   |        | 0                                 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6 | Gesamt |
| Klassifizierung<br>nach Downer<br>(Konsens) | 0      | 20                                | 12 | 6  | 1  | 3  | -  | - | 42     |
|   | 1      | 6                                 | 12 | 5  | 2  | 2  | 1  | - | 28     |
|   | 2      | 4                                 | 11 | 7  | 6  | 3  | 1  | 1 | 33     |
|   | 3      | -                                 | 3  | 9  | 14 | 12 | 11 | 1 | 50     |
|   | 4      | -                                 | -  | 1  | -  | 5  | 6  | 1 | 13     |
|   | Gesamt | 30                                | 38 | 28 | 23 | 25 | 19 | 3 | 166    |

Der Korrelationskoeffizient nach Spearman-Rho zwischen den visuellen Befunden (ICDAS-II) und den histologischen Befunden (Downer-Klassifikation, Konsens-Entscheidung) betrug für Untersucher A  $r_s = 0,54$ . Dieser entspricht nach *Rickets et al.* [1998] einer moderaten Korrelation.

Tab.5.8: Kreuztabelle der visuellen und histologischen Befunde für Untersucher B

|   |        | ICDAS-II Codes<br>(Untersucher B) |    |    |    |    |    |   |        |
|---|--------|-----------------------------------|----|----|----|----|----|---|--------|
|   |        | 0                                 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6 | Gesamt |
| Klassifizierung<br>nach Downer<br>(Konsens) | 0      | 15                                | 20 | 3  | 1  | 2  | -  | - | 42     |
|   | 1      | 2                                 | 9  | 8  | 8  | 1  | -  | - | 28     |
|   | 2      | -                                 | 5  | 19 | 5  | 2  | 1  | 1 | 33     |
|   | 3      | -                                 | 4  | 21 | 7  | 5  | 8  | 5 | 50     |
|   | 4      | -                                 | -  | 1  | 1  | 3  | 5  | 3 | 13     |
|   | Gesamt | 17                                | 38 | 52 | 22 | 13 | 14 | 9 | 166    |

Die Ergebnisse in Tabelle 5.8 zeigen Folgendes: 88,2% (15 von 17) der befundeten Messpunkte, die mit dem ICDAS Code 0 bewertet wurden, waren auch histologisch als gesund erkennbar (Klassifizierung nach Downer Code 0, gelb markiertes Feld). 45,6% (41 von 90) der Messpunkte, die bei der visuellen Untersuchung mit den Codes 1 und 2 (Schmelzveränderung ohne Verlust der Schmelzstruktur oder Kavitätenbildung) bewertet wurden, waren auch histologisch als Schmelzläsion erkennbar (grün markierte Felder). Die blau markierten Felder zeigen diejenigen Messpunkte, die visuell einen Verlust der Schmelzstruktur und/ oder eine Dentinbeteiligung aufzeigten (ICDAS Codes 3 bis 6). 63,8% dieser Messpunkte wurden histologisch als Dentinläsion erkannt. Auch für Untersucher B wurde der Korrelationskoeffizient nach Spearman-Rho zwischen den visuellen Befunden (ICDAS-II) und den histologischen Befunden (Downer-Klassifikation, Konsens-Entscheidung) ermittelt. Dieser betrug  $r_s = 0,50$  und entspricht ebenfalls einer moderaten Korrelation.



Die Sensitivität für die visuelle Untersuchung von Untersucher A lag für das D1-Niveau bei 92,2 % und für das D3-Niveau bei 78,7 %. Die ermittelte Spezifität betrug für das D1-Niveau 38,8 % und für das D3-Niveau 81,3 %.

### 5.8.2 Sensitivität und Spezifität des ICDAS-II von Untersucher B

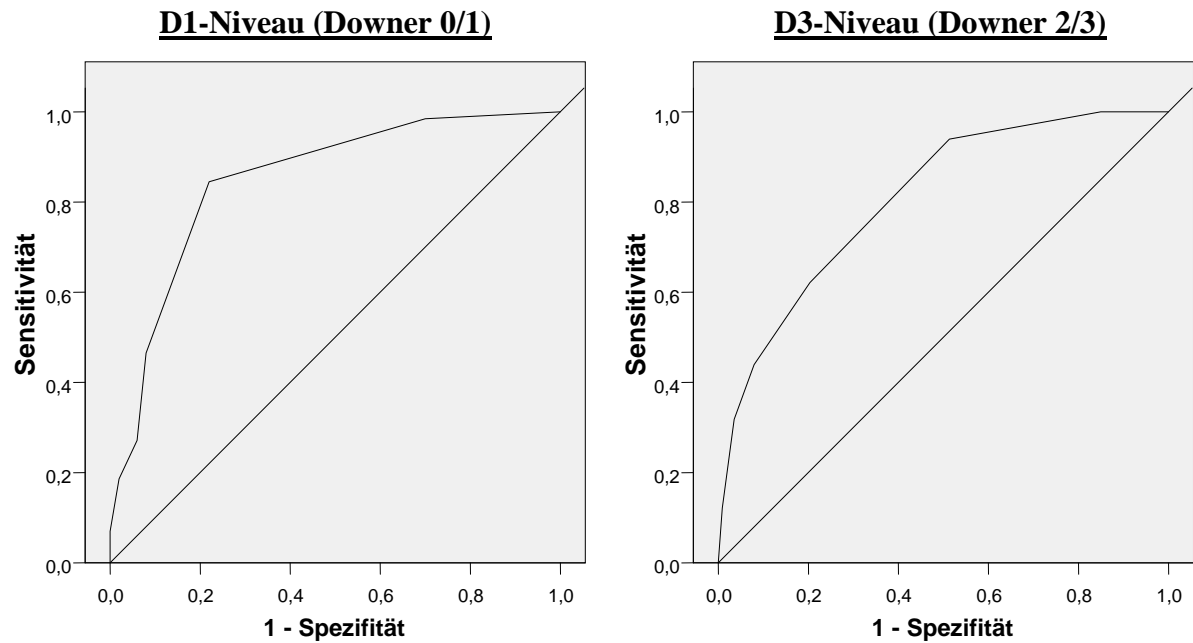


Abb. 5.2: ROC-Kurven für die visuelle Untersuchung von Untersucher B auf D1-Niveau und D3-Niveau

Tab. 5.10: Sensitivität und Spezifität auf dem D1- und D3-Niveau für die visuelle Untersuchung von Untersucher B

|  | ICDAS<br>Trenn-<br>Punkt | AUC   | 95% KI      | Sensitivität<br>(%) | Spezifität<br>(%) | Summe<br>(nach<br>Kingman,<br>1990) |
|--|--------------------------|-------|-------------|---------------------|-------------------|-------------------------------------|
| <b>D1-Niveau*</b>  | 0/1-6                    | 0,848 | 0,780-0,915 | 98,4                | 30,0              | 128,4                               |
| <b>D3-Niveau**</b>   | 0-2/3-6                  | 0,807 | 0,744-0,870 | 62,1                | 79,6              | 141,7                               |
| *Schmelz- und Dentinkaries (Downer 0/1-4)<br>**Dentinkaries (Downer 0-2/3-4)<br>KI= Konfidenzintervall ; AUC= Area Under the Curve |                          |       |             |                     |                   |                                     |

Die Sensitivität für die visuelle Untersuchung von Untersucher B lag für das D1-Niveau bei 98,4 % und für das D3-Niveau bei 62,1 %. Die ermittelte Spezifität betrug für das D1-Niveau 30,0 % und für das D3-Niveau 79,6 %.



## **6 Diskussion**

### **6.1 Diskussion der Problemstellung**

Wie bereits in der Literaturübersicht beschrieben wurde, sind ein Rückgang und eine Veränderung der Kariesausprägung zu beobachten. Daher ist es ein Ziel der modernen Zahnmedizin, Karies bereits in einem frühen Stadium zu erkennen, deren Progressionsgrad einzuschätzen und mit präventiven oder minimal-invasiven Interventionsmöglichkeiten frühzeitig tätig zu werden.

Um diesem Ziel gerecht zu werden, wurden viele Methoden zur Kariesdiagnose vorgestellt. Im Jahre 2002 wurde auf der Basis von bisher bekannten und validierten Kariesmethoden [Rickets et al, 2002; Ekstrand et al., 2005] das International Caries Detection and Assessment System (ICDAS) entwickelt. Dieses 7-stufige visuelle Kariesdiagnosesystem soll als eine standardisierte Methode in Lehre, in der Zahnarztpraxis und in epidemiologischen Studien eingesetzt werden. Bisherige Studien [Jablonski-Momeni et al., 2008a und b, 2009b, 2010b; Rodrigues et al., 2008; Diniz et al., 2009, 2011] lieferten gute Ergebnisse bezüglich der Sensitivität, Spezifität und Reproduzierbarkeit. Ziel dieser Dissertation war es zu überprüfen, wie die Reproduzierbarkeit, Sensitivität und Spezifität des ICDAS-II für einen Untersucher sind, der dieses System neu kennenlernt. Außerdem sollte der Frage nachgegangen werden, wie die Ergebnisse mit den Ergebnissen eines erfahrenen Untersuchers, sowie der radiologischen und histologischen Untersuchung korrelieren, da hierfür zur Zeit nur wenige Daten vorliegen.

### **6.2 Diskussion von Material und Methode**

#### **6.2.1 Auswahl und Lagerung der Zähne**

Für diese in-vitro Studie zur Untersuchung der Okklusalkaries standen 100 menschliche Seitenzähne der bleibenden Dentition (85 Molaren und 15 Prämolaren) mit unterschiedlich tiefen kariösen Läsionen zur Verfügung. Bei der Auswahl wurde darauf geachtet, dass die Zähne unterschiedliche kariöse Läsionen in den Fissuren und Grübchen aufweisen, wobei alle Stufen der Okklusalkaries - von gesund bis tiefe Kavität - vertreten waren. Zähne mit Strukturanomalien oder Füllungen wurden nicht eingeschlossen. Diese 100 Zähne wurden aus einem Pool von extrahierten und in gesättigter Thymol-Lösung gelagerten Zähnen ausgewählt und gereinigt (je nach Bedarf mit: Ultraschall, Prophylflex<sup>®</sup>, Zahnreinigungsbürste und Paste). Um das Austrocknen der Zähne zu vermeiden, wurden sie für diese Untersuchung in Wasser

gelagert. Zur Aufbewahrung der Zähne stehen verschiedene Lagerungsmedien wie Alkohol, Formalin, Chloramin, Wasser, Natriumhypochlorid und Thymol zur Verfügung. *Diniz et al.* [2009] lagerten die Zähne bei -20°C, tauten sie drei Stunden vor der Untersuchung auf und legten sie anschließend in Kochsalzlösung (250ppm F<sup>-</sup> im Tafelsalz). *Rickets et al.* [1998], *Cortes et al.* [2003] sowie *Diniz et al.* [2010] verwendeten bei ihren Studien Thymol, da es sich durch seine starke desinfizierende, bakterizide und fungizide Wirkung auszeichnet [Adam und Christ, 1987] und häufig verwendet wird, um Zähne langfristig zu lagern. Im Zusammenhang mit manchen Diagnoseverfahren, wie beispielsweise die Fluoreszenzmessung zur Untersuchung der Okklusalkaries, sollte der Einfluss des Lagerungsmediums berücksichtigt werden. In einer Studie von *Francescut et al.* [2006] zeigte sich, bis auf die Gruppe der eingefrorenen Zähne, bereits nach Tagen für die in Thymol, Formalin und Chloramin gelagerten Zähne eine Abnahme der Fluoreszenzwerte. *Jablonski-Momeni et al.* [2010a] führten eine Studie durch, bei der extrahierte Zähne einen längeren Zeitraum in Wasser gelagert waren. Es konnte auch nach zweimaliger Untersuchung der Zähne keine signifikante Abnahme der Fluoreszenzwerte festgestellt werden. Für die visuelle, radiologische (analog und digital) und anschließend histologische Untersuchung ist Wasser als Lagerungsmedium die einfachste Lösung, ohne Gefahr der Dehydratation.

Um die Bedingungen der extrahierten Zähne einer in-vitro Studie denen der Mundhöhle optimal anzupassen, ist die Überlegung naheliegend, die Zähne in Kunstspeichel zu lagern. *Klimek et al.* [1982] legte eine Rezeptur dafür vor. Der beste Lösungsansatz ist letztendlich eine in-vivo durchgeführte Studie, aber je nach Fragestellung und ethischen Aspekten nicht immer durchführbar.

### 6.2.2 Untersucher und Unterweisung

Diese in-vitro Studie wurde durch zwei Untersucher (Untersucher A und B) durchgeführt. Untersucher A war zum Zeitpunkt der Untersuchungen approbierte Zahnärztin mit 8 Jahren Berufserfahrung und stand als Trainerin und Referenzuntersucherin zur Verfügung. Untersucher B war zum Zeitpunkt der Untersuchungen im 10. Semester des Zahnmedizinstudiums. Zu Beginn der Untersuchung wurde Untersucher B von Untersucher A durch ein theoretisches und praktisches Training in das ICDAS eingewiesen (siehe Kapitel 4.3.2).

In der Literatur werden verschiedene Unterweisungsmöglichkeiten angegeben, um Studenten oder Postgraduierte vor den jeweiligen Studien in das neue visuelle Diagnoseverfahren ICDAS-II einzuweisen. In einer frühen Studie von *Jablonski-Momeni et al.* [2008a] wies der

Referenzuntersucher, der an der Entwicklung des ICDAS-II beteiligt war, drei erfahrene Zahnärzte in einem 2-stündigen Training in das ICDAS-II ein. Das Training umfasste eine 30-minütige Vorlesung mit Erläuterung der verschiedenen ICDAS-Codes unter Verwendung von Abbildungen einer Reihe von Okklusalflächen mit den entsprechenden histologischen Abbildungen. Anschließend wurden 20 vergrößerte Abbildungen von Okklusalflächen mit unterschiedlichen Kariesausprägungen mittels ICDAS-Codes von jedem Untersucher beurteilt. Über die Ergebnisse wurde diskutiert und ein Konsenscode festgelegt. Das gleiche Verfahren wurde anschließend mit 20 extrahierten Zähnen durchgeführt. 2009 untersuchten *Zandona et al.* die Anwendung des ICDAS-II an 60 Okklusalflächen in drei unterschiedlichen Gruppen: 10 Studierende, 10 Graduierte und 10 Lehrende. Die Unterweisung aller Teilnehmer an der Studie in das ICDAS-II-System erfolgte gleich. In einer 90-minütigen Vorlesung wurden die verschiedenen ICDAS-II Kriterien erläutert. Anschließend folgte ein hands-on Kurs, bei dem jeder 30 Okklusalflächen visuell untersuchte. Die Ergebnisse wurden mit denen eines Experten verglichen und gemeinsam diskutiert.

Wie bereits in der Literaturübersicht erwähnt wurde, ist für das ICDAS-II ein E-Learning Programm online verfügbar. Es wurde 2008 entwickelt [Topping et al., 2008] und stand zum Zeitpunkt der vorgelegten Studie noch nicht zur Verfügung. Seither wird jedoch der Effekt dieses E-Learning Programms in verschiedenen Studien untersucht. So untersuchten *Diniz et al.* [2010] in ihrer zweiphasigen Studie den Einfluss des ICDAS E-Learning Programms auf acht Studenten. In der ersten Phase wurden die verschiedenen ICDAS-Codes in einem einstündigen theoretischen Training basierend auf dem Paper von *Jablonski-Momeni et al.* [2008a] und einem anschließenden praktischen Training an 25 extrahierten Zähnen erklärt und praktisch angewandt. Nach einer Woche wurde das Training wiederholt. Anschließend wurden die eigentlichen 104 Zähne eine Woche später nach den Kriterien des ICDAS-II visuell untersucht. In der zweiten Phase absolvierten die Studenten das 90-minütige E-Learning Programm unter Betreuung und untersuchten die 104 Zähne erneut. Auch diese Untersuchung wurde nach einer Woche wiederholt. Laut *Diniz et al.* [2010] gibt es eine Verbesserung der diagnostischen Fähigkeiten nach dem ICDAS E-Learning. *Rodrigues et al.* [2013] untersuchten hingegen den Effekt des E-Learning Programms auf vier erfahrene Zahnärzte, die im Durchschnitt acht Jahre Berufserfahrung hatten. Vor der ersten Untersuchung wurde den vier Zahnärzten lediglich eine Tabelle mit den verschiedenen ICDAS-II Kariescodes und den entsprechenden Erklärungen gegeben. Nach einer Woche absolvierten sie das 90-minütige E-Learning Programm und untersuchten 170 bleibenden Molaren erneut auf Okklusalkaries mittels ICDAS-II. Aus den Ergebnissen ihrer

Untersuchung schlossen die Autoren, dass das E-Learning Programm keinen statistisch signifikanten Effekt auf die Fähigkeit der erfahrenen Zahnärzte hat, Okklusalkaries mittels ICDAS-II zu beurteilen, da sie bereits klinische Erfahrung in der Kariesbeurteilung mitbrachten.

In einer weiteren Studie von *Jablonski-Momeni et al.* [2012a] wurden 24 Studenten im 6. Semesters des Zahnmedizinstudiums vor Beginn der ersten klinischen Kurse in einer 2-stündigen Präsentation in das ICDAS-II eingeführt. Die verschiedenen ICDAS-II Karies- und Versorgungscodes wurden anhand von digitalen Abbildungen der Zähne mit den entsprechenden Zahnhartschnitten gezeigt. Es wurde hervorgehoben, dass die Zähne sauber sein sollten und im trockenen sowie nassen Zustand beurteilt werden müssen. 20 Abbildungen von Okklusalfächen, bei denen alle ICDAS-II Codes vertreten waren, wurden anschließend gemeinsam betrachtet, befundet und diskutiert, bis Konsens erreicht wurde. Die Hälfte der Studenten bekam drei Wochen später eine zusätzliche Trainingseinheit von 60 Minuten anhand von Abbildungen der Zahnoberflächen. Dadurch verbesserte sich die Reproduzierbarkeit, aber nicht statistisch signifikant. Die gleiche Zielgruppe wurde von *Parviainen et al.* [2013] untersucht. Dabei wurden 57 Studenten des 6. Semesters durch drei Stunden Vorlesung und anschließendem hands-on Kurs in das ICDAS-II eingewiesen. Die Vorlesung bestand aus einer Einführung in die Kariesthematik und deren klinische Manifestation, Progression und Arretierung. Die unterschiedlichen Läsionstiefen und die entsprechenden histologischen Veränderungen am Zahn wurden anhand von klinischen Fotos (komplett und geteilt) gezeigt und dabei die verschiedenen ICDAS-II Codes erklärt. Durch die Ergebnisse der visuellen Untersuchung mittels ICDAS-II kamen sie zum Schluss, dass die Studenten bereits nach einem Basistraining gut in der Lage sind, die Tiefe der kariösen Läsion mittels ICDAS-II einzuschätzen.

*Foley et al.* [2012] untersuchten die Reproduzierbarkeit der Befundungen von 31 Studenten im zweiten, dritten und vierten Jahr des Zahnmedizinstudiums bei der Anwendung des ICDAS-II Karies- und Versorgungscodes. Vor der ersten Untersuchung bekamen sie ein eintägiges Basistraining durch einen Referenz-Untersucher, zwei Wochen vor der zweiten Untersuchung sollten sie das ICDAS-II E-Learning Programm absolvieren. Die Ergebnisse der Untersuchung variierten sowohl unter den Studierenden, als auch unter den Kommilitonen im gleichen Studienjahr. Eine aktuelle Studie von *Jablonski-Momeni et al.* [2014b] untersuchte den Einsatz von optimierten digitalen Abbildungen für das theoretische Training in der Lehre von Studenten im 6. und 10. Semester. Da am Standort der durchgeführten Studie das ICDAS bereits in der Lehre eingeführt war (standardisiertes Protokoll mit

Vorlesungen, Seminaren und E-Learning Programm), hatten beide Gruppen das Training mitgemacht. Jedoch lag dies für die Studenten im 10. Semester zwei Jahre zurück. Doch sie wandten das ICDAS-II bereits in zwei klinischen Kursen am Patienten an. Vor der Studie wurde keine Unterweisung in das ICDAS-II gemacht. Die Autoren kommen zum Schluss, dass die ICDAS-Kriterien von allen Studenten unabhängig von ihrer klinischen Erfahrung eingesetzt werden konnten. Die Anwendung von optimierten Abbildungen führte bei den Studenten im 10. Semester zu einer signifikant besseren Detektion von Schmelzläsionen.

### 6.2.3 Visuelle Untersuchung

Die visuelle Untersuchung ist weiterhin die Grundlage systematischer Kariesdiagnose im zahnärztlichen Alltag, da sie schnell und einfach durchzuführen ist. Auch in epidemiologischen Untersuchungen wird diese Form der Untersuchung favorisiert.

In Reihenuntersuchungen erfolgt die klinische Kariesdiagnose üblicherweise nach dem WHO-Standard, d.h. Läsionen werden auf Kavitätsniveau erfasst. Nach Definition der WHO [1997] liegt eine behandlungsbedürftige Karies (D3-Niveau) dann vor, wenn freiliegendes Dentin sichtbar oder unterminierter Schmelz mit erweichten Schmelzrändern tastbar ist. Da diese Form der Karies stark rückläufig ist, wird eine Klassifizierung benötigt, die kariöse Läsionen differenzierter beurteilt und nicht nur den Grad der Läsionen, sondern auch die Progression einschätzen kann.

Führende Kariesforscher entwickelten in internationaler Zusammenarbeit [ICDAS Coordinating Committee 2005] das International Caries Detection and Assessment System (ICDAS-II). Bei diesem visuellen Kariesdiagnoseverfahren wird die okklusale Karies in sieben Codes (0 bis 6) eingeteilt. Schmelzkaries wird mit den Codes 1 und 2 erfasst, Dentinkaries mit den Codes 3 bis 6. Seit der Entwicklung des ICDAS-II wurden damit zahlreiche Studien zur Diagnose der Okklusalkaries durchgeführt. In den Studien von *Jablonski-Momeni et al.* [2008a] sowie *Rodrigues et al.* [2008] zeigte sich das ICDAS-II bereits als valide für die Diagnose der okklusalen Karies. Auch *Diniz et al.* [2009, 20011] zeigten in ihren Studien, dass ICDAS-II eine gute Reproduzierbarkeit und Akkuratheit für die Diagnose der Okklusalkaries, speziell für kariöse Läsionen in der äußeren Hälfte des Schmelzes, aufweist.

Vergleichsstudien zur Sensibilität, Spezifität und Reproduzierbarkeit des ICDAS-II für unerfahrene Untersucher, das heißt, Studierende oder Zahnärzte, die mit diesem System noch nicht vertraut sind, im Gegensatz zu erfahrenen Untersuchern, gibt es derzeit nur wenige [Zandona et al., 2009; Gimenez et al., 2013; Jablonski-Momeni et al., 2012a und 2014b].

Daher war dies Gegenstand der vorliegenden Studie. Da hier lediglich ein unerfahrener Untersucher (Student im 10. Semester der Zahnmedizin) und ein erfahrener Zahnarzt (8 Jahre Berufserfahrung) an der Studie teilnahmen, sollten größer angelegte Studien mit mehreren Studenten oder approbierten Zahnärzten, die ICDAS-II neu erlernen, folgen.

#### **6.2.4 Untersuchung der analogen und digitalen Röntgenaufnahmen**

Neben der visuellen Untersuchung wurden von allen 100 Zähnen analoge und digitale Röntgenaufnahmen in orthograder Projektion von bukkal nach lingual zur Untersuchung der Okklusalkaries hergestellt.

Die radiologische Untersuchung wurde durchgeführt, da sie im zahnärztlichen Alltag neben der visuellen Untersuchung bei rechtfertigender Indikation tagtäglich eingesetzt wird. Der Vergleich mit den radiologischen Verfahren simuliert den Einsatz unter praxisnahen Bedingungen und kommt dem klinischen Prozedere am nächsten. Daher spielt die radiologische Untersuchung der Zähne auch in der Ausbildung der angehenden Zahnärzte eine wichtige Rolle.

Als Strahlungsquelle diente der Röntgenstrahler Oralix AC (Firma Gendex, Hamburg). In Vorversuchen wurde eine geeignete Belichtungszeit mit den besten Ergebnissen in Kontrast und Bildrauschen ermittelt. Die Belichtungsdauer betrug demnach 12ms für die Prämolaren und 16ms für die Molaren bei konstanter Röhrenspannung von 65kV. Die analogen Röntgenbilder wurden mit einem automatischen Entwicklungsautomaten (AC 245L, Firma Dürr-Dental, Bietigheim-Bissingen) entwickelt und an einem herkömmlichen Röntgenbetrachtungsgerät nach DIN 6856-3:2007-05 (Firma Densply, Rinn Co., Elgin, USA) betrachtet. Da das digitale Röntgen immer mehr Einzug in die Zahnarztpraxen findet, wurden von den 100 Zähnen auch digitale Röntgenaufnahmen mit dem Digora System (Fa. Gendex, Hamburg) angefertigt und diese an einem für die Bildbetrachtung zugelassenen 18-Zoll-Farbmonitor (FlexScan L768, EIZO, Avnet Technology Solutions GmbH, Nettetal, Deutschland) ausgewertet.

*Heinrich-Weltzien et al.* [2008] halten Bissflügelaufnahmen für die Erkennung von Okklusalkaries, vor allem an Molaren, für gut geeignet. Außerdem konnten Studien von *Weerheijm et al.* [1992] sowie *Heinrich-Weltzien et al.* [2001] belegen, dass anhand von Bissflügelaufnahmen ein großer Teil versteckter okklusaler Dentinläsionen bei Kindern und Jugendlichen diagnostiziert werden konnten. Allerdings sehen *Lussi et al.* [2003] im Einsatz der radiologischen Untersuchung die Einschränkung, dass kariöse Läsionen im Bereich der Fissuren und Grübchen erst dann im Röntgenbild diagnostizierbar sind, wenn die Karies

bereits bis in das Dentin fortgeschritten ist. Auch *Neuhaus et al.* [2009] stellten fest, dass die Validität der radiologischen Untersuchung zur Diagnose der Schmelzkaries im okklusalen Bereich gering ist. Für die Therapieentscheidung ist es von großer Bedeutung, ob eine Schmelz- oder Dentinkaries vorliegt, da eine anfängliche Schmelzkaries durch prophylaktische Maßnahmen wieder remineralisierbar ist. Eine Dentinkaries, die radiologisch als okklusale Läsion sichtbar wird, ist deutlich stärker infiziert und bedarf einer invasiven Therapie. *Ricketts et al.* [1995a und 1995b] sehen die Bissflügelaufnahme daher als ein diagnostisches Sicherheitsnetz, da durch sie über die Notwendigkeit einer invasiven Behandlung entschieden werden kann.

Aufgrund des in-vitro Designs der Studie ist die Durchführung der radiologischen Untersuchung als nicht bedenklich anzusehen, da die Aufnahmen an extrahierten Zähnen durchgeführt wurde und somit für die Patienten keine zusätzliche Strahlenbelastung entstand. Da die Indikation für die Extraktion der untersuchten Zähne unabhängig von der Studie von Zahnärzten gestellt wurde, liegen auch hier keine Bedenken vor.

### **6.2.5 Diskussion des Goldstandards Histologie**

Die Validierung eines neuen Verfahrens zur Kariesdiagnose erfolgt auf der Basis eines sogenannten „Goldstandards“. Die gängigste Methode hierfür ist die histologische Beurteilung von Zahnhartschnitten [Huysmans und Longbottom, 2004]. Es gibt große Unterschiede in der Herstellung und Betrachtung der Zahnhartschnitte. Auch die Klassifikation der Kariesstufen ist in den verschiedenen Studien sehr unterschiedlich. Die einfachste Form der Herstellung von Zahnhartschnitten zur histologischen Untersuchung ist die Hemisektion durch den zu untersuchenden Zahnabschnitt. Hierbei kann jedoch aufgrund der komplexen Fissurenmorphologie und der dreidimensionalen Kariesausdehnung nicht immer sichergestellt werden, ob der tiefste Punkt der Kariesausdehnung tatsächlich angeschnitten ist. Aufwendiger, aber genauer, ist die Herstellung von Serienschnitten, die zwischen 250 bis 1000µm dick sein können. In der vorliegenden Studie wurden die zu untersuchenden Zähne nach einem publizierten Protokoll histologisch aufbereitet [Stachniss, 2005; Jablonski-Momeni und Stachniss, 2011]. Jedem Messpunkt konnten zwischen einem und vier Schnitte zugeordnet werden. Für jeden Messpunkt wurde die tiefste Ausdehnung der Karies innerhalb der entsprechenden Schnitte registriert. Wie in Kapitel 4.3.6 beschrieben, konnte mithilfe eines eingebetteten Messdreiecks sichergestellt werden, dass auch genau die histologischen Zahnhartschnitte beurteilt wurden, die im Bereich der zu untersuchenden Messpunkte lagen.

Die histologische Beurteilung von Zahnhartschnitten als Goldstandard wird bereits seit den Anfängen der diagnostischen Kariesforschung angewandt [Downer, 1975]. Da Zahnkaries als eine „mikroskopische“ Läsion beginnt, ist es auch nachvollziehbar, die Mikroskopie für die Beurteilung der Ausdehnung der Läsion anzuwenden [Burket, 1941]. Die Untersuchung der Zahnhartschnitte erfolgte in dieser Studie unter einem Stereo-Makroskop (M 420, Firma Wild Heerbrugg AG, Schweiz) bei 16-facher Vergrößerung unter Auflicht. *Jablonski-Momeni et al.* [2009a] zeigten in ihrer Studie, dass die Untersuchung der Kariesausdehnung an digitalen Bildern von Zahnhartschnitten vergleichbare Ergebnisse wie die direkte Untersuchung am Mikroskop liefern. Der große Vorteil der digitalen Bilder von Zahnhartschnitten ist, dass diese in Multi Center Studien eingesetzt werden können.

In manchen Studien werden die Zahnhartschnitte mit Rhodamin B angefärbt, um kariöse Bereiche selektiv anzufärben und darzustellen [Rodrigues et al., 2008; Diniz et al., 2009].

Für die Einstufung der Kariesausdehnung werden in den histologischen Untersuchungen unterschiedliche Klassifikationen verwendet. Gängig sind die Klassifikationen der Kariestiefe nach *Downer* [1975] und *Ekstrand et al.* [1997]. In dieser Studie galten die von *Downer* [1975] genannten Kriterien (Tab. 4.5) als Index.

Um bei der Validierung der Karies mittels Histologie als Goldstandard untersucherbedingte subjektive Schwankungen einzugrenzen, werden immer wieder neue Verfahren entwickelt, die die kariöse Ausdehnung an Zahnhartschnitten quantitativ erfassen können. Beispiele hierfür sind die Mikroradiographie oder die Konfokale Laser Scanning Mikroskopie (CLSM) [Hintze et al., 1995; Banerjee und Boyde, 1998; Ricketts et al., 1998].

### 6.2.6 Studiendesign

Nach *Pitts* [2001] sollte das Studiendesign aus zwei Teilen bestehen: ein erster klinisch-diagnostischer Teil (in-vivo) und ein zweiter histologischer Teil. Meist ist es bei diesem Vorgehen jedoch schwierig, geeignete Patienten auszuwählen und zu rekrutieren. Außerdem ist aus ethischer Sicht zu fragen, unter welchen Umständen Patienten für Studienzwecke zweimalig (analog und digital) Röntgenstrahlen ausgesetzt und die entsprechenden Zähne nach der diagnostischen Untersuchung für die histologische Validierung extrahiert werden dürfen. In dieser Studie wurde deshalb das klassische Design der Laborstudie gewählt, in der sowohl der diagnostische als auch der histologische Teil in-vitro durchgeführt wurde. Hierbei wurde versucht, den ersten diagnostischen Teil der Studie so weit wie möglich der klinischen Situation anzupassen. Allerdings konnten Faktoren wie das Alter des Patienten, die



Allgemein- und Sozialanamnese oder das allgemeine Kariesrisiko, welche entscheidenden Einfluss auf die Diagnose- und Therapieentscheidung haben, nicht berücksichtigt werden. Nicht alle Ergebnisse können daher auf eine in-vivo Situation übertragen werden. Im Vorfeld einer in-vivo Studie ist es zur Validierung von Material und Methode jedoch sinnvoll, in-vitro Untersuchungen durchzuführen. Weiterführende klinische Studien können somit effizienter und medizinisch aussagekräftiger gestaltet werden.

## **6.3 Diskussion der Ergebnisse**

### **6.3.1 Reproduzierbarkeit der visuellen Untersuchung nach ICDAS-II**

Für ein neues Diagnoseverfahren ist es wichtig, die Reproduzierbarkeit des Verfahrens zu untersuchen. Dies gilt sowohl für jeden einzelnen Untersucher (Intra-Untersucher Reproduzierbarkeit) als auch für die Untersucher untereinander (Inter-Untersucher Reproduzierbarkeit). Da in dieser Studie Untersucher A bereits mit dem System vertraut war und Untersucher B in das ICDAS-II einwies, spielt die Untersuchung der Inter-Untersucher Reproduzierbarkeit eine wichtige Rolle, da sie Hinweis auf die Vermittelbarkeit zur Umsetzung gibt. Sowohl Untersucher A als auch Untersucher B befundeten 100 Zähne mit 181 Messpunkten und bewerteten diese nach den Kriterien des ICDAS-II (Tab. 4.2, Kap. 4.3.3). Nach drei Wochen fand eine erneute visuelle Untersuchung der Zähne durch beide Untersucher statt, um die Intra-Untersucher Reproduzierbarkeit beider Untersucher für das visuelle Kariesdiagnosesystem ICDAS-II zu überprüfen. Es wurden sowohl der einfache als auch der gewichtete Kappa-Wert bestimmt. Bei der Bestimmung des gewichteten Kappa-Wertes werden Abweichungen, die aus größeren Diskordanzen bestehen, stärker gewichtet als solche, die aus kleineren Diskordanzen bestehen. Es ergeben sich somit aus großen Diskordanzen niedrigere Kappa-Werte als für kleine Diskordanzen.

Der einfache Kappa-Wert für die Inter-Untersucher Reproduzierbarkeit der visuellen Untersuchung nach ICDAS-II betrug  $\kappa = 0,36$ , was einer ausreichenden Übereinstimmung der Untersucher entspricht. Der gewichtete Kappa-Wert lag mit  $\kappa = 0,63$  im substantiellen Bereich.

Für die Intra-Untersucher Reproduzierbarkeit von Untersucher A lag der einfache Kappa-Wert mit  $\kappa = 0,67$  im substantiellen Bereich, der gewichtete Kappa-Wert mit  $\kappa = 0,83$  sogar im fast perfekten Bereich. Untersucher B wies für die Intra-Untersucher Reproduzierbarkeit einen einfachen Kappa-Wert von  $\kappa = 0,53$ , was eine moderate Konstanz des Untersuchers

bedeutete, und einen gewichteten Kappa-Wert von  $\kappa = 0,72$  auf, womit die Konstanz im substantiellen Bereich lag. Die höheren Kappa-Werte für Untersucher A sind wahrscheinlich auf die Erfahrung aus der langjährigen praktischen Tätigkeit in der Kariologie und der Durchführung mehrerer Studien zu ICDAS-II zurückzuführen. Aber auch Untersucher B, eine Studentin des 10. Fachsemesters, wies bereits nach einer Einweisung und kurzen Trainingsphase mit dem ICDAS-II gute Werte für die Konstanz auf.

Vergleichbare Ergebnisse lieferten auch andere Studien: In einer in-vitro Studie von *Jablonski-Momeni et al.* [2008a] untersuchten vier Zahnärzte mit unterschiedlicher Berufserfahrung 100 extrahierte Zähne auf Okklusalkaries nach den Kriterien des ICDAS-II. Zuvor durchliefen die Zahnärzte ein Trainingsprogramm und wurden von einem Zahnarzt kalibriert, der an der Entwicklung des ICDAS mitwirkte. Die gewichteten Kappa-Werte für die Inter-Untersucher Reproduzierbarkeit der visuellen Untersuchung nach ICDAS-II lagen zwischen  $\kappa = 0,62$  bis  $\kappa = 0,82$ , die Kappa-Werte für die Intra-Untersucher Reproduzierbarkeit lagen zwischen  $\kappa = 0,74$  bis  $\kappa = 0,83$  und somit im substantiellen bis fast perfekten Bereich. Aus den Ergebnissen dieser Studie kamen die Autoren zu dem Schluss, dass das ICDAS-II zur Diagnose der Okklusalkaries eine hohe Akkuratheit für verschiedene Progressionsgrade kariöser Läsionen und eine hohe Reproduzierbarkeit aufweist [Jablonski-Momeni et al., 2008a].

*Rodrigues et al.* [2008] ermittelten in einer in-vitro Studie von zwei erfahrenen Zahnärzten an 119 extrahierten Molaren für die Inter-Untersucher Reproduzierbarkeit einen ungewichteten Kappa-Wert von  $\kappa = 0,51$ , was einer moderaten Übereinstimmung der Untersucher entspricht. Der ermittelte ungewichtete Kappa-Wert für die Intra-Untersucher Reproduzierbarkeit lag mit  $\kappa = 0,61$  im substantiellen Bereich. Ähnliche Kappa-Werte für die visuelle Untersuchung mittels ICDAS-II wurden in einer Studie von *Diniz et al.* [2009] ermittelt. Für die Inter- und Intra-Untersucher Reproduzierbarkeit wurden ungewichtete Kappa-Werte von  $\kappa = 0,51$  bzw.  $\kappa = 0,58$  berechnet. Beide lagen somit im moderaten Bereich. Sie folgerten aus den Ergebnissen, dass das ICDAS-II Verfahren besonders für die Okklusalkaries in der äußeren Hälfte des Schmelzes eine gute Akkuratheit und Reproduzierbarkeit aufweist.

Vier erfahrene Zahnärzte untersuchten in einer Studie von *Jablonski-Momeni et al.* [2009b] 100 bleibende Zähne visuell mit der Frage, ob es einen Unterschied gibt, eine oder mehrere Messpunkte an einem Zahn auf Okklusalkaries zu untersuchen. Dabei ermittelten sie für die Intra- und Inter-Untersucher Reproduzierbarkeit Werte von  $\kappa = 0,72$ - $0,82$  bzw.  $\kappa = 0,66$ - $0,80$ . Sie folgerten, dass man zu vergleichbaren Ergebnissen kommt, wenn man eine oder mehrere Stellen an einem Zahn untersucht.

In einer Studie von *Zandona et al.* [2009] wurden die Inter- und Intra-Untersucher Reproduzierbarkeiten von drei Untersuchergruppen ermittelt, die unterschiedlich lange klinische Erfahrung besaßen: Lehrende (durchschnittlich 23,4 Berufsjahre), Graduierte (durchschnittlich 7 Berufsjahre) und Studenten (erstes und viertes Jahr) der Zahnmedizin. Nach einer Einführung und einem hands-on Kurs zur visuellen Kariesdiagnose nach ICDAS-II wurden durch alle Teilnehmer 60 Okklusalfächen visuell untersucht. Die gewichteten Kappa-Werte für die Intra-Untersucher Reproduzierbarkeiten lagen für die Lehrenden bei  $\kappa = 0,69-0,92$ , für die Graduierten bei  $\kappa = 0,70-0,93$  und für die Studenten bei  $\kappa = 0,60-0,88$ . Die Wiederholung der visuellen Untersuchung aller 60 Okklusalfächen fand allerdings nach einer 30-minütigen Pause statt. Die Inter-Untersucher Reproduzierbarkeit wurde zur Konsentsentscheidung von zwei erfahrenen Untersuchern, die Mitglieder des ICDAS Koordinationskomitees sind, berechnet. Die gewichteten Kappa-Werte für die Inter-Untersucher Reproduzierbarkeiten lagen für die Lehrenden bei  $\kappa = 0,62-0,83$ , für die Graduierten bei  $\kappa = 0,33-0,78$  und für die Studenten bei  $\kappa = 0,59-0,84$ . Die Unterschiede der Kappa-Werte für die Inter- und Intra-Untersucher Reproduzierbarkeit der visuellen Untersuchung nach ICDAS-II waren demnach statistisch nicht signifikant. Die Autoren folgerten aus den Ergebnissen, dass frühere klinisch-zahnmedizinische Erfahrungen keine signifikante Rolle beim Erlernen des ICDAS zu spielen scheinen.

Im Gegensatz dazu konnten, wie auch in unserer Studie oben aufgeführt, *Rosen et al.* [2010] ebenfalls einen Unterschied in den ermittelten Kappa-Werten für die Intra-Untersucher Reproduzierbarkeit zwischen einem erfahrenen und einem unerfahrenen Untersucher feststellen. So lagen sowohl der einfache als auch der gewichtete Kappa-Wert für die Intra-Untersucher Reproduzierbarkeit vom erfahrenen Untersucher A im substantiellen Bereich  $\kappa = 0,73$  bzw.  $\kappa = 0,78$ . Der unerfahrene Untersucher B (Student im 10. Fachsemester) wies für die Intra-Untersucher Reproduzierbarkeit einen einfachen Kappa-Wert von  $\kappa = 0,47$  auf, was eine moderate Konstanz des Untersuchers bedeutet, und einen gewichteten Kappa-Wert von  $\kappa = 0,70$ , womit die Konstanz im substantiellen Bereich lag. Die Autoren führen die Unterschiede in der Konstanz auf die unterschiedlichen Erfahrungen der zahnärztlichen Tätigkeit zurück. Die Inter-Untersucher Reproduzierbarkeit mit dem ICDAS-II Verfahren lag mit einem einfachen Kappa-Wert von  $\kappa = 0,60$  im moderaten Bereich und mit einem gewichteten Kappa-Wert von  $\kappa = 0,74$  im substantiellen Bereich, etwas höher als in unserer Studie.

*Diniz et al.* [2010] bestimmten in ihrer Studie den „Intraclass Correlation Coefficient“ (ICC) von acht Studenten der Zahnmedizin vor und nach Absolvieren des ICDAS E-Learning

Programms. Der ICC ist bei mehreren Untersuchern einfacher zu bestimmen als der Kappa-Wert. Nach *Grouven et al.* [2007] besteht jedoch ein enger Zusammenhang zwischen dem ICC und dem gewichteten Kappa. Laut *Diniz et al.* [2010] erzielten diese Studenten hohe ICC (Inter class coefficient)-Werte für die Inter- und Intra-Untersucher Reproduzierbarkeit sowohl vor (ICC 0,72 bzw. 0,75) als auch nach dem E-Learning Programm (ICC 0,78 bzw. 0,82). Die Autoren folgerten aus den Ergebnissen, dass das E-Learning Programm die Fähigkeit der Studenten, Okklusalkaries mittels ICDAS-II zu diagnostizieren, verbessert. Der Unterschied der Reproduzierbarkeiten basierend auf dem Konfidenzintervall war vor und nach dem Programm jedoch nicht signifikant. *Rodrigues et al.* [2013] untersuchten ebenfalls den Effekt des ICDAS E-Learning Programms für die Diagnose der Okklusalkaries, aber auf die Befundergebnisse von vier approbierten Zahnärzten (7-9 Jahre Berufserfahrung) an 170 bleibenden Molaren. Die gewichteten Kappa-Werte der Inter-Untersucher Reproduzierbarkeiten lagen im Durchschnitt bei  $\kappa = 0,61$  vor und bei  $\kappa = 0,66$  nach Durchführung des Programms. Aus allen Ergebnissen der Studie folgerten die Autoren, dass das E-Learning Programm keinen statistisch signifikanten Effekt auf die diagnostische Fähigkeit für ICDAS-II von erfahrenen Zahnärzten hat.

In einer Studie von *Jablonski-Momeni et al.* [2010b] untersuchten drei Zahnärzte (1, 4 und 10 Jahre Berufserfahrung) den Effekt von verschiedenen Zeitintervallen auf die Inter- und Intra-Untersucher Reproduzierbarkeit. Dafür wurden 50 Seitenzähne der bleibenden Dentition nach einem Tag, einer Woche und vier Wochen nach den Kriterien des ICDAS-II wiederholt befundet. Die gewichteten Kappa-Werte für die Inter-Untersucher Reproduzierbarkeiten lagen zwischen  $\kappa = 0,72$  und  $0,90$ , die gewichteten Kappa-Werte für die Intra-Untersucher Reproduzierbarkeiten waren zwischen  $\kappa = 0,80$  und  $\kappa = 0,93$ . Die Autoren fanden heraus, dass die Zeitspanne zwischen den Untersuchungen keinen großen Einfluss auf die Inter- und Intra-Untersucher Reproduzierbarkeiten hat. Auch in der Studie von *Diniz et al.* [2011] wurden die Inter- und Intra-Untersucher Reproduzierbarkeiten von erfahrenen Untersuchern ( $n = 4$ ) mit 8 bis 15 Jahren Berufserfahrung ermittelt. Die ICC-Werte für die Intra- bzw. Inter-Untersucher Reproduzierbarkeiten lagen mit  $0,86$ - $0,91$  bzw.  $0,81$  im hohen Bereich. Sie begründen diese hohen Werte erstens durch die Absolvierung des ICDAS E-Learning Programms und zweitens durch das in-vitro Studiendesign.

*Foley et al.* [2012] untersuchten die Anwendung des ICDAS-II bei Studenten des zweiten, dritten und vierten Jahres des Zahnmedizinstudiums. Dabei wurden 40 bleibende Molaren und Milchmolaren in-vitro untersucht. Nach drei Monaten wurde die Untersuchung wiederholt. Die Kappa-Werte der Intra-Untersucher Reproduzierbarkeiten lagen bei  $\kappa = 0,35$ - $0,62$

(Studenten im 2. Jahr),  $\kappa = 0,22-0,53$  (Studenten im 3. Jahr) und  $\kappa = 0,22-0,65$  (Studenten im 4. Jahr). Die Kappa-Werte der Inter-Untersucher Reproduzierbarkeiten lagen bei der Erstuntersuchung zwischen  $\kappa = 0,31$  und  $\kappa = 0,45$ , bei der Zweituntersuchung zwischen  $\kappa = 0,20$  und  $\kappa = 0,34$ . Es wird allerdings nicht erwähnt, ob es sich um einfache oder um gewichtete Kappa-Werte handelt.

Eine weitere Studie von *Jablonski-Momeni et al.* [2012a] untersuchte die Intra- und Inter-Untersucher Reproduzierbarkeit von 24 Studenten im sechsten Semester, die keinerlei klinische Erfahrung hatten und das ICDAS-II neu erlernten. Außerdem wurde der Frage nachgegangen, ob eine zusätzliche Theorie-Stunde die Werte für die Reproduzierbarkeit der ICDAS-II Kariescodes beeinflusst. Die gewichteten Kappa-Werte für die Intra- bzw. Inter-Untersucher Reproduzierbarkeiten für die Studenten ohne zusätzliche Theorie-Stunde variierten zwischen  $\kappa = 0,43-0,83$  bzw.  $\kappa = 0,12-0,72$ . Bei den Studenten, die eine zusätzliche Theorie-Stunde bekamen, lagen die Intra- bzw. Inter-Untersucher Reproduzierbarkeiten bei  $\kappa = 0,24-0,80$  bzw.  $\kappa = 0,10-0,57$ . Die Autoren folgerten aus den Ergebnissen, dass eine zusätzliche Theorie-Stunde die Reproduzierbarkeit der Studenten verbesserte. Der Unterschied der mittleren Kappa-Werte war allerdings statistisch nicht signifikant.

*Parviainen et al.* [2013] untersuchten ebenfalls die Reproduzierbarkeit von Studenten ( $n = 57$ ) im sechsten Semester. 27 extrahierte bleibende Molaren wurden von den Studenten nach einer Einweisung in das ICDAS-II und Nyvads-System auf Okklusalkaries untersucht und anschließend histologisch vom Referenzuntersucher validiert. Der mittlere Kappa-Wert für die Intra-Untersucher Reproduzierbarkeit des ICDAS-II lag bei  $\kappa = 0,47$ , mittlerer ICC = 0,66, für das Nyvads-System lagen die mittleren Werte bei  $\kappa = 0,48$  und ICC = 0,68. Sie schlussfolgerten, dass Studenten im sechsten Semester ohne klinische Erfahrung bereits nach einem Basistraining gute Akkuratheit und Reproduzierbarkeit bezüglich der verschiedenen visuellen Kariesdiagnosemethoden aufwiesen.

Die Verwendung von Vergrößerungshilfen wie Lupenbrille oder OP-Mikroskop finden immer mehr Einzug in die zahnärztlichen Praxen. Daher wurde in einer aktuellen in-vitro Studie von *Sisodia et al.* [2014] der Einfluss der Anwendung einer Lupenbrille (1,8-fache Vergrößerung) und eines OP-Mikroskops (3,4-fache Vergrößerung) bei der Untersuchung der initialen Okklusalkaries mittels ICDAS-II untersucht. Dabei wurden 60 extrahierte Molaren und Prämolaren der bleibenden Dentition von zwei Untersuchern befundet. Nach einer Woche wurden die Untersuchungen wiederholt. Die Intra- und Inter-Untersucher Reproduzierbarkeiten der beiden Untersucher ohne Vergrößerungshilfe lagen bei  $\kappa = 0,54$  bzw.  $\kappa = 0,72$  und  $\kappa = 0,46$ . Die Intra- und Inter-Untersucher Reproduzierbarkeiten der beiden

Untersucher mit Lupenbrille lagen bei  $\kappa = 0,40$  bzw.  $\kappa = 0,53$  und  $\kappa = 0,46$ , mit OP-Mikroskop bei  $\kappa = 0,74$  bzw.  $\kappa = 0,67$  und  $\kappa = 0,63$ . Es wird jedoch nicht erwähnt, ob es sich um einfache oder gewichtete Kappa-Werte handelt. Die Autoren kommen zum Schluss, dass die Anwendung des OP-Mikroskops die Inter-Untersucher Reproduzierbarkeit zur Diagnose der okklusalen Initialkaries verbessert. Dagegen erhielten *Mitropoulos et al.* [2012] bei der Untersuchung von 38 extrahierten Zähnen durch zwei Untersucher eine nahezu perfekte Inter-Untersucher Reproduzierbarkeit bei den ICDAS-II Codes 0, 2 und 3, ungeachtet davon, ob eine Vergrößerungshilfe benutzt wurde oder nicht. Für den ICDAS-II Code 1 führte eine Vergrößerungshilfe sogar zu einer geringeren Reproduzierbarkeit als die visuelle Untersuchung mit bloßem Auge. Sie folgern aus ihren Ergebnissen, dass eine Vergrößerungshilfe die diagnostische Fähigkeit der visuellen Untersuchung nicht verbessert.

*Jablonski-Momeni et al.* [2014b] untersuchten den Einfluss der digitalen Bildbearbeitung auf das Beurteilungsergebnis des ICDAS-II durch jeweils 10 Studenten des 6. und 10. Fachsemesters Zahnmedizin. Dafür wurden 60 extrahierte bleibende Zähne im trockenen und feuchten Zustand fotografiert und anschließend digital bearbeitet. Die 20 Studenten sollten anschließend insgesamt 214 Abbildungen dieser Zähne auf Approximal-/Glatflächen- bzw. Okklusalkaries mittels ICDAS-II untersuchen. Zwei Drittel der Zähne (randomisierte Auswahl) wurden nach einer Woche erneut befundet. Der mittlere, gewichtete Kappa-Wert für die Intra-Untersucher Reproduzierbarkeit der Studenten im 6. Semester betrug  $\kappa = 0,761$  und der Studenten im 10. Semester  $\kappa = 0,706$ . Die Inter-Untersucher Reproduzierbarkeit wurde zwischen dem jeweiligen Studenten und dem Referenzuntersucher ermittelt. Der entsprechende mittlere, gewichtete Kappa-Wert der Studenten im 6. Semester betrug  $\kappa = 0,594$  und der Studenten im 10. Semester  $\kappa = 0,595$ . Die Betrachtung der mittleren Kappa-Werte lässt zu dem Schluss kommen, dass keine signifikanten Unterschiede in der Reproduzierbarkeit zwischen Studenten des 6. und 10. Semesters vorliegen. Außerdem folgern die Autoren aus den weiteren Ergebnissen, dass die Anwendung von optimierten Abbildungen zu einer signifikant besseren Detektion von Schmelzläsionen durch Studenten, die Erfahrung mit dem ICDAS-II haben, führt und sich daher der hohe Aufwand lohnt.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Ergebnisse unserer Studie vergleichbar mit den oben genannten Studien sind. Abweichungen zu den berichteten Studien kommen möglicherweise durch Unterschiede in den Unterweisungsmethoden und -zeiten zustande. Unsere Ergebnisse zeigen jedoch, dass das ICDAS-II Verfahren gute Inter- und Intra-Untersucher Reproduzierbarkeiten für einen erfahrenen und einen unerfahrenen Untersucher aufweist und somit auch für unerfahrene Untersucher leicht erlernbar und in-vitro umsetzbar

ist. In weiteren Untersuchungen sollten allerdings mehrere unerfahrene und erfahrene Untersucher einbezogen und weitere Kalibrierungsmethoden angewendet werden, um die Ergebnisse zu optimieren. Auch in-vivo durchgeführte Studien, die sich mit dieser Fragestellung beschäftigen, sollten folgen.

### **6.3.2 Reproduzierbarkeit der analogen und digitalen Radiographie von Untersucher A und B**

Die Inter-Untersucher Reproduzierbarkeit der analogen und digitalen Radiographie wurden in unserer Studie ermittelt, um festzustellen, inwieweit die Ergebnisse von Untersucher A (erfahren) mit den Ergebnissen von Untersucher B (Student im 10. Semester) übereinstimmen. Hierbei wurden sowohl die einfachen, als auch die gewichteten Cohens-Kappa-Werte jeweils für das analoge und das digitale Röntgen berechnet. Der einfache Kappa-Wert der Inter-Untersucher Reproduzierbarkeit für die analoge Radiographie war mit  $\kappa = 0,36$  ausreichend, der gewichtete Kappa-Wert mit  $\kappa = 0,43$  moderat. Für die digitale Radiographie betrug der einfache Kappa-Wert  $\kappa = 0,28$  und der gewichtete Kappa-Wert  $\kappa = 0,33$ . Beide Werte lagen somit nach der Einteilung von *Landis und Koch* [1997] im ausreichenden Bereich.

Zahlreiche Studien untersuchten die Reproduzierbarkeit und Akkuratheit der radiologischen Kariesdiagnose, sowohl mittels analoger, als auch mittels verschiedener digitaler Radiographie. Jedoch gibt es große Unterschiede im Studiendesign, was Anzahl und Erfahrung der Untersucher angeht. So untersuchten *Mileman et al.* [2002] anhand von 105 analogen Röntgenbildern die unterschiedliche Fähigkeit von Studenten ( $n = 259$ , im vierten Jahr des Zahnmedizinstudiums) im Vergleich zu approbierten Zahnärzten ( $n = 273$ ), approximale Dentinkaries zu beurteilen. Sie wurden befragt, ob diese Zähne Karies bis zur äußeren Hälfte des Dentins aufweisen. Validiert wurde mittels Mikroradiographie der geteilten Zähne. Die Inter-Untersucher Reproduzierbarkeit wurde leider nicht berechnet. Die Studenten wiesen höhere Sensitivitäten, jedoch niedrigere Spezifitäten als die approbierten Zahnärzte auf. Die Autoren kamen aus ihren Untersuchungsergebnissen zum Schluss, dass die erfahrenen Zahnärzte den Studenten überlegen sind, wenn man den realistischen, therapeutischen cut-off Punkt für die Diagnose und Behandlung der Approximalkaries nimmt. In einer Studie von *Rodrigues et al.* [2008] untersuchten zwei erfahrene Zahnärzte (Berufsjahre nicht angegeben) 119 bleibende Molaren unter anderem mittels analoger Radiographie auf Okklusalkaries. Der ungewichtete Kappa-Wert für die Inter-Untersucher Reproduzierbarkeit lag mit  $\kappa = 0,50$  im moderaten Bereich. Der etwas höhere Kappa-Wert als

in der vorliegenden Studie könnte damit erklärt werden, dass beide Untersucher bereits approbierte Zahnärzte waren und kein Student die Untersuchung durchgeführt hat. Sie folgerten aus ihren gesamten Untersuchungen, dass die Kombination aus ICDAS-II und Bissflügelaufnahmen die besten Ergebnisse erzielt, Okklusalkaries festzustellen.

Ebenfalls zwei Zahnärzte (Berufsjahre nicht angegeben) befundeten in einer in-vitro Studie von *Pareira et al.* [2009] 96 bleibende Molaren auf Okklusalkaries mittels drei unterschiedlicher radiologischer Verfahren: analoges Röntgen sowie zwei digitale Systeme (CCD- und CMOS-Technologie). Jedoch lagen die gewichteten Kappa-Werte für die Inter-Untersucher Reproduzierbarkeit viel höher als in anderen Studien. Sie betrugen für das analoge Röntgen  $\kappa = 0,57$ , für das erste digitale System (CCD)  $\kappa = 0,85$  und für das zweite digitale System  $\kappa = 0,90$  und lagen somit im moderaten (analog) bis fast perfekten Bereich (digital). Diese hohe Übereinstimmung könnte an der ähnlich langjährigen Berufserfahrung beider Untersucher liegen. Die Autoren folgern eine diagnostische Äquivalenz der beiden digitalen Röntgensysteme mit der analogen Radiographie, wie bereits *Wenzel et al.* [1995] und *Tyndall et al.* [1998] festgestellt hatten.

Mit ähnlicher Zielsetzung wie in unserer Studie untersuchten in der in-vitro Studie von *Diniz et al.* [2010] 10 Studenten (5 brasilianische, 5 Schweizer Studenten im letzten Studienjahr) sowie 10 erfahrene Zahnärzte (aus Brasilien und Schweiz, 5-7 Jahre Berufserfahrung) 166 bleibende Molaren mittels analoger Bissflügelaufnahmen auf Okklusalkaries. Die Untersuchungen wurden nach einer Woche wiederholt und histologisch validiert. Die ungewichteten Kappa-Werte der Inter-Untersucher Reproduzierbarkeit lagen für die brasilianischen Studenten bei  $\kappa = 0,07$ , für die Schweizer Studenten bei  $\kappa = 0,12$ , für die brasilianischen Zahnärzte bei  $\kappa = 0,24$  und für die Schweizer Zahnärzte bei  $\kappa = 0,33$ , und waren damit niedriger als in unserer Studie. Sie folgerten aus ihren Ergebnissen, dass die Reproduzierbarkeit der röntgenologischen Untersuchung von der klinischen Erfahrung, vom Training und der zahnmedizinischen Ausbildung sowie der Genauigkeit, Okklusalkaries zu entdecken, beeinflusst wird. Bereits 1995 stellten *Lazarchik et al.* ebenfalls fest, dass Studenten und Lehrende der Zahnmedizin unterschiedliche Fähigkeiten besitzen, Okklusalkaries auf Röntgenbildern zu evaluieren, und Training und Erfahrung insbesondere die Inter-Untersucher Reproduzierbarkeit beeinflusst.

Ebenfalls 2010 untersuchten in einer Studie von *Kamburoglu et al.* drei spezialisierte Radiologen („oral radiologists“) 60 dritte Molaren, die zur Extraktion bestimmt waren, zuerst in-vivo, anschließend in-vitro mittels digitaler Radiographie (PSP-Sensor). Die Kappa-Werte für die Inter-Untersucher Reproduzierbarkeit lagen in-vivo bei  $\kappa = 0,380$ - $0,549$ , in-vitro bei



$\kappa = 0,392-0,495$ , also wie in unserer Studie im ausreichenden bis moderaten Bereich. Generell konnten sie keine signifikanten Unterschiede in den Ergebnissen der in-vivo und in-vitro digitalen Röntgenaufnahmen zur Beurteilung der Okklusalkaries finden.

*Diniz et al.* [2011] untersuchten in einer in-vitro Studie 104 bleibende Zähne visuell, radiologisch und histologisch auf Okklusalkaries. Die Untersuchung wurde durch vier erfahrene Untersucher mit mindestens fünf Jahren Berufserfahrung durchgeführt. Dabei wurde ein mittlerer ICC von 0,74 für die Inter-Untersucher Reproduzierbarkeit der analogen Radiographie ermittelt. Auch die Reproduzierbarkeiten für die visuelle Untersuchung und die Behandlungsplanung lagen im hohen Bereich. Sie erklären dies durch die lange Berufserfahrung und die ähnliche Ausbildung der Untersucher, da sie aus der gleichen Fakultät stammen.

In einer aktuelleren in-vitro Studie wurden CBCT-Aufnahmen sowie digitale Röntgenbilder mittels PSP-Technologie von 60 Zähnen hergestellt [Rathore et al., 2012]. Sechs Untersucher, davon zwei Radiologen, zwei angehende Radiologen sowie zwei Zahnärzte, untersuchten diese auf Okklusalkaries. Die Kappa-Werte für die Inter-Untersucher Reproduzierbarkeit betrugen für das CBCT  $\kappa = 0,152-0,401$  und für die PSP-Technologie  $\kappa = 0,244-0,543$ . Die Untersucher mit unterschiedlicher Berufserfahrung zeigten, wie auch in unserer Studie, eine ausreichende bis moderate Übereinstimmung untereinander.

Die Intra-Untersucher Reproduzierbarkeit von Untersucher A und B wurde in unserer Studie nicht ermittelt, da die Untersuchungen der analogen und digitalen Radiographie nur jeweils einmal durchgeführt wurden.

### **6.3.3 Korrelation zwischen den visuellen Befunden und den Befunden der analogen und digitalen Radiographie**

Zur Überprüfung der Korrelation der unterschiedlichen Verfahren wurde in dieser Studie der Korrelationskoeffizient nach Spearman-Rho ( $r_s$ ) verwendet. Die Interpretation des Wertes erfolgt in der Einteilung nach *Ricketts et al.* [1998] wie folgt: Ein Wert zwischen 0,00 und 0,30 entspricht einer geringen, ein Wert zwischen 0,31 und 0,70 einer moderaten und ein Wert zwischen 0,71 und 1,00 einer hohen Korrelation. Es gibt jedoch eine weitere gängige Einteilung nach *Cohen* [1968]: Ein Wert zwischen 0 und 0,3 entspricht einer geringen, ein Wert zwischen 0,3 und 0,5 einer mittleren und ein Wert zwischen 0,5 und 1,0 einer hohen Korrelation. In dieser Studie wurde die Einteilung nach *Ricketts et al.* [1998] herangezogen, da sie auch für unsere Studie geeignet erschien.

Der Korrelationskoeffizient nach Spearman-Rho zwischen den visuellen Befunden (ICDAS-II) und den Befunden der analogen Radiographie betrug für Untersucher A  $r_s = 0,59$ . Dies entspricht nach *Rickets et al.* [1998] einer moderaten Korrelation. Für Untersucher B betrug dieser Wert  $r_s = 0,53$ . Dies entspricht ebenfalls einer moderaten Korrelation. Um die Korrelation zwischen der visuellen Untersuchung und der digitalen Radiographie zu analysieren, wurde für Untersucher A und B ebenfalls der Spearman Korrelationskoeffizient berechnet. Dieser betrug für Untersucher A  $r_s = 0,56$  und entspricht einer moderaten Korrelation. Für Untersucher B betrug dieser Wert 0,42. Dies entspricht ebenfalls einer moderaten Korrelation. Zusammenfassend kann man also sehen, dass für den unerfahrenen Untersucher geringere Korrelationswerte zwischen der visuellen und der röntgenologischen Untersuchung als für den erfahrenen Untersucher berechnet wurden. Dies kann durch die längere klinische Erfahrung in der visuellen sowie röntgenologischen Diagnose der Okklusalkaries von Untersucher A erklärt werden.

In einer Studie von *Chong et al.* [2003] wurden 302 extrahierte Prämolaren der bleibenden Dentition durch einen erfahrenen Zahnarzt visuell, radiologisch (analog und digital) sowie mittels DIAGNOdent<sup>®</sup> auf Okklusalkaries untersucht. Die visuelle Kariesdiagnose wurde durch eine zahnärztliche Sonde taktil unterstützt und in fünf Stufen eingeteilt. Die Untersuchungen ergaben eine Korrelation zwischen der visuell-taktilen und der analogen Radiographie einen Wert von  $r_s = 0,10$  für den Spearman Korrelationskoeffizienten. Für die Korrelation zwischen der visuell-taktilen Untersuchung und der digitalen Radiographie betrug der Wert  $r_s = 0,1663$ . Diese Ergebnisse lagen somit niedriger als in unserer Studie, was mit der unterschiedlichen Einteilung der visuell-taktilen Untersuchung zusammenhängen könnte. *Chong et al.* kommen zu dem Schluss, dass die Kombination aus visuell-taktiler Untersuchung mit analoger oder digitaler Radiographie über 80% der okklusalen kariösen Defekte aufdecken würden.

*Kühnisch et al.* [2008] benutzten in ihrer in-vivo Studie für die visuelle Untersuchung die Einteilung nach *Ekstrand et al.* [1997]. Sie erhielten für die Korrelation zwischen der visuellen Untersuchung und der Bissflügelaufnahmen eine relativ hohe Korrelation ( $r_s = 0,70$ ). Jedoch muss betont werden, dass die visuelle Einteilung nach *Ekstrand et al.* [1997] weniger differenziert ist als das ICDAS-II, was den relativ hohen Wert für den Korrelationskoeffizienten erklären könnte [Diniz et al., 2011].

*Diniz et al.* [2011] ermittelten eine hohe Korrelation zwischen den ICDAS-II Kariescodes und der analogen Radiographie ( $r_s = 0,74$ ). Die Studie wurde allerdings von 4 erfahrenen

Untersuchern durchgeführt, von denen zwei Professoren der Kinderzahnheilkunde und zwei PhD Studenten mit 8 Jahren Berufserfahrung waren.

In einer Studie von *Jablonski-Momeni et al.* [2012b] wurden 84 permanente Zähne visuell (ICDAS-II), mit dem DIAGNOdent<sup>®</sup>, mittels einer Laserfluoreszenzkamera und mit digitalen Bissflügelaufnahmen auf Okklusalkaries untersucht und mit der klinischen Läsionstiefe validiert. Der Spearman Korrelationskoeffizient zwischen den ICDAS-II Kariescodes und der digitalen Radiographie betrug  $r_s = 0,36$  und lag somit niedriger als in dieser Studie.

Einige Autoren untersuchten die Korrelation von Bissflügelaufnahmen mit der histologischen Untersuchung. So erhielten *Rodrigues et al.* [2008] einen Spearman-Korrelationskoeffizienten von  $r_s = 0,57$  (hohe Korrelation nach Rickets et al., 1998). Dagegen ermittelten *Diniz et al.* [2010] in der bereits erwähnten Studie mit 20 Untersuchern verschiedener Ausbildung und Berufserfahrung eine geringe bis mittlere Spearman-Korrelation ( $r_s = 0,12-0,38$ ) zwischen der radiologischen Untersuchung und Histologie. Außerdem zeigten bereits *Pitts et al.* [1992] sowie *Wenzel* [2004], dass Röntgenaufnahmen die aktuelle Läsionstiefe, die histologisch gemessen wurde, unterschätzen.

Generell ist bei den eher niedrigen Werten für die Inter-Untersucher Reproduzierbarkeiten der analogen und digitalen Radiographie sowie für die Korrelation zwischen den ICDAS-II-Messungen und der röntgenologischen Untersuchung wichtig zu berücksichtigen, dass Bissflügelaufnahmen bei der okklusalen Kariesdiagnose Einschränkungen aufweisen. So wurde bereits erwähnt, dass Bissflügelaufnahmen gut geeignet sind, um Okklusalkaries, die bereits bis ins Dentin reicht, zu diagnostizieren. Die Validität, initiale Schmelzläsion okkusal oder approximal zu entdecken, ist jedoch gering [Wenzel et al., 1995; Wenzel, 2004]. Dies liegt einerseits an der Tatsache, dass bei der Herstellung von Bissflügelaufnahmen die dreidimensionale Anatomie des Zahnes in ein zweidimensionales Bild umgewandelt wird. Dabei verschleiern überlagerte Höcker initiale Veränderungen in den Fissuren [Espelid et al., 1994; Neuhaus et al., 2009]. Andererseits tendiert man bei der Kariesdiagnose mittels Bissflügelaufnahmen im Bereich der Schmelz-Dentin-Grenze zu falsch-positiven Ergebnissen, was am „Mach-Band-Effekt“ liegen könnte [Fiorentini, 1972; Berry, 1983]. Der Effekt ist ein psychophysiologisches Wahrnehmungsphänomen, benannt nach dem Physiker *Ernst Mach* [1865]. Er entdeckte, dass an der Grenzfläche von zwei unterschiedlichen Graustufen, hier Schmelz und Dentin auf dem Röntgenbild, helle und dunkle Streifen entstehen, die den Kontrast zwischen den Flächen verstärken. Das heißt man neigt dazu, eine Radioluzenz im Dentin an der Schmelz-Dentin-Grenze zu sehen, obwohl keine Dentinkaries vorhanden ist [Espelid et al., 1994].

Außerdem kann die korrekte Beurteilung von kariösen Läsionen auf Bissflügelaufnahmen von verschiedenen Faktoren beeinflusst werden, wie Aufnahmetechnik, Bildbearbeitung, Art des Bildempfängers, Belichtungsparameter, vertikale und horizontale Neigung des Röntgenstrahls, Positionierung des Films, Displaysystem, Betrachtungsbedingungen, mögliche Streuung durch angrenzende Gewebe und Fehler bei der Interpretation, die ebenfalls zur falschen Diagnose führen können [Dove, 2001].

### 6.3.4 Korrelation der visuellen und histologischen Befunde

Der Korrelationskoeffizient nach Spearman-Rho zwischen den visuellen Befunden und den histologischen Befunden betrug für Untersucher A  $r_s = 0,54$ . Dieser entspricht nach *Rickets et al.* [1998] einer moderaten Korrelation. Für Untersucher B lag er mit  $r_s = 0,50$  ebenfalls im moderaten Bereich. Dabei wurden für die histologischen Befunde die Konsens-Entscheidungen beider Untersucher und die Downer-Klassifikation [Downer, 1975] benutzt. Zahlreiche Studien überprüften die Korrelation der visuellen und histologischen Befunde. Einen ähnlichen Wert ( $r_s = 0,59$ ) wie in unserer Studie erhielten auch *Rodrigues et al.* [2008]. *Jablonski-Momeni et al.* [2008a] untersuchten die Korrelation des ICDAS-II mit zwei unterschiedlichen histologischen Klassifikationen (Downer, 1975 und Ekstrand et al., 1997). Die Spearman-Korrelationskoeffizienten lagen bei  $r_s = 0,43-0,72$ . Auch *Diniz et al.* [2009] verglichen das ICDAS-II mit zwei histologischen Klassifikationen (Ekstrand et al., 1997 und Lussi et al., 1999). Hierbei lagen die Werte mit  $r_s = 0,42-0,53$  wie in unserer Studie im moderaten Bereich. Ein Jahr später untersuchten *Diniz et al.* [2010] den Effekt des E-Learning Programms auf Studenten. Dabei wurde vor dem E-Learning Programm eine Korrelation zwischen ICDAS-II und Histologie (Ekstrand, 1997) von  $r_s = 0,57$  ermittelt. Danach lag der Wert mit  $r_s = 0,61$  etwas höher. Eine sehr hohe Korrelation von  $r_s = 0,87$  zwischen den ICDAS-II Codes und der Downer-Histologie ermittelten drei erfahrene Zahnärzte bei der Untersuchung von 50 bleibenden Zähnen auf Okklusalkaries [Jablonski-Momeni et al., 2010b]. Dies liegt wahrscheinlich an der Verwendung der Konsensentscheidungen beider Kariesdiagnoseverfahren zur Ermittlung der Korrelation. Ähnlich wie in unserer Studie untersuchten in einer in-vitro Studie von *Jablonski-Momeni et al.* [2011a] eine erfahrene Zahnärztin und ein Student im 10. Semester die Okklusalkaries an bleibenden Zähnen sowohl mittels ICDAS-II als auch histologisch (Downer-Klassifikation). Die Korrelation der visuellen Untersuchung und den histologischen Konsensentscheidungen lagen für beide bei  $r_s = 0,53$ . Die Ergebnisse dieser Studie sind somit diesbezüglich gut vergleichbar mit unserer

Studie. Eine weitere in-vitro Studie von *Jablonski-Momeni et al.* [2013] mit ähnlicher Untersucherkonstellation (erfahrene Zahnärztin mit 12 Jahren Berufserfahrung und ein Student im 9. Semester) untersuchte die Okklusalkaries mittels ICDAS-II, VistaProof und VistaCam. Die histologische Auswertung der geteilten Zähne wurde von zwei mit dieser Methode vertrauten Untersuchern durchgeführt und es wurde für jeden Messpunkt eine Konsensentscheidung getroffen. Die ermittelte Korrelation zwischen den ICDAS-II Ergebnissen und den histologischen Konsensentscheidungen lag für die erfahrene Untersucherin bei  $r_s = 0,89$  und für den Studenten bei  $r_s = 0,63$ . Ebenfalls eine hohe Korrelation erhielten *Gomez et al.* [2013] in ihrer Vergleichsstudie ( $r_s = 0,88$ ).

Auch an Milchzähnen wurde die Korrelation zwischen ICDAS-II und der Histologie bestimmt. So konnten *Souza et al.* [2013] an 79 Milchzähnen eine Korrelation beider Methoden von  $r_s = 0,72$  für die Diagnose der Okklusalkaries ermitteln. Ähnlich hoch lag die Korrelation an Milchzähnen ( $r_s = 0,78$  für Untersucher 1,  $r_s = 0,73$  für Untersucher 2) in einer in-vitro Studie von *Ari et al.* [2013], die für die visuelle Untersuchung mittels ICDAS-II jedoch zusätzlich eine Lupenbrille (2,5-fache Vergrößerung) mit einer montierten LED-Lampe benutzten.

Die oben genannten unterschiedlichen Werte für die Korrelation der visuellen und histologischen Befunde könnten einerseits durch die unterschiedliche Erfahrung der Untersucher kommen. Dies wird bestätigt durch die vergleichbaren Ergebnisse von Studien mit ähnlicher Untersucherkonstellation. Andererseits werden in den Studien unterschiedliche Methoden für die histologische Untersuchung der Okklusalfächen benutzt, wie unterschiedliche Sektionen (Serienschnitte versus Hemisektion) und unterschiedliche Klassifikationen (*Downer* [1975] versus *Ekstrand et al.* [1997]). Daher sind standardisierte Methoden bei der histologischen Untersuchung gefordert, die die Ergebnisse der Korrelation vergleichbar machen könnten.

### **6.3.5 Die Sensitivität und Spezifität der visuellen Untersuchung nach ICDAS-II**

Die Sensitivität und Spezifität in dieser Studie wurden am Goldstandard Histologie (*Downer*-Klassifikation) überprüft und auf dem D1- und D3-Niveau berechnet. D1-Niveau bedeutet hierbei, dass Schmelz- und Dentinkaries zusammengefasst werden und die Grenzwertziehung sowohl bei der *Downer*-Klassifikation als auch bei den ICDAS-II Kariescodes zwischen 0

und 1 ist. Dagegen wird auf dem D3-Niveau nur Dentinkaries als kariös erfasst. Die cut-off Punkte lagen hier bei beiden Einteilungen zwischen 2 und 3.

Für die visuelle Untersuchung von Untersucher A wurden eine Sensitivität und Spezifität für das D1-Niveau von 92,2 % und 38,8% ermittelt. Die Sensitivität und Spezifität für das D3-Niveau betrugen 78,7% und 81,3%. Für Untersucher B lagen die ermittelte Sensitivität und Spezifität für das D1-Niveau bei 98,4 % und 30,0% bzw. für das D3-Niveau bei 62,1 % und 79,6%. Die Sensitivitäten für das D1-Niveau lagen somit sowohl für den erfahrenen als auch für den unerfahrenen Untersucher sehr hoch. Allerdings waren die Spezifitäten auf diesem Niveau sehr niedrig. Das D3-Niveau zeichnete sich bei beiden Untersuchern durch eine hohe Spezifität aus bei ebenfalls relativ hohen Werten für die Sensitivität.

Zahlreiche andere Studien untersuchten die Sensitivität und Spezifität des ICDAS-II. In einer Studie von *Jablonski-Momeni et al.* [2008a] wurden für vier erfahrene Untersucher auf dem D1-Niveau Sensitivitäten und Spezifitäten von 0,59-0,73 und 0,74-0,91 ermittelt. Auf dem D3-Niveau lagen sie bei 0,48-0,83 und 0,82-0,90 (*Downer*-Klassifikation). Die optimalen Sensitivitäten und Spezifitäten auf dem D1-Niveau lagen allerdings bei einer Grenzwertziehung zwischen 1 und 2 für die ICDAS-II Codes anstatt korrekterweise zwischen 0 und 1. Diese Grenzwertziehung wurde dadurch begründet, dass somit optimale Werte für die Sensitivität und Spezifität erreicht wurden. Bei einem cut-off zwischen 0 und 1 lagen die Sensitivitäten hoch, jedoch die Spezifitäten niedrig, so wie es in unserer Studie auf dem D1-Niveau der Fall war. Der ICDAS-II cut-off zwischen 1 und 2 auf dem D1-Niveau wurde auch in anderen Studien verwendet [Braga et al., 2009; Jablonski-Momeni et al., 2009b, 2010b]. *Diniz et al.* [2009] ermittelten in ihrer Studie zur Reproduzierbarkeit und Akkuratheit des ICDAS-II für die Okklusalkaries auf dem D2-Niveau (ICDAS-II Codes 0-1=gesund, Codes 2-6=kariös) eine Sensitivität und Spezifität von 0,91 und 0,47 bzw. auf dem D3-Niveau (ICDAS-II cut-off 0-2/3-6) eine Sensitivität und Spezifität von 0,75 und 0,62 (*Lussi*-Klassifikation, identisch mit *Downer*-Klassifikation). Die Ergebnisse sind also vergleichbar mit unseren Werten. In einer Studie von *Zandona et al.* [2009] konnte kein signifikanter Unterschied zwischen erfahrenen Untersuchern und Studenten bezüglich Sensitivität und Spezifität gefunden werden. Auf dem D1-Niveau lagen Sensitivität und Spezifität bei 0,71-0,75 und 0,86, auf dem D3-Niveau 0,97-1,0 und 0,86. *Jablonski-Momeni et al.* [2011a] erhielten für das D1-Niveau (ICDAS cut-off 0/1) eine Sensitivität und Spezifität von 0,76 und 0,57, für das D3-Niveau (ICDAS-II cut-off 2/3) eine Sensitivität und Spezifität von 0,41 und 0,91 und sind somit ebenfalls vergleichbar mit unseren Ergebnissen. In einer in-vivo Studie von *Diniz et al.* [2012] wurden bei der Untersuchung von 105 Okklusalflächen mittels

ICDAS-II mit anschließender Extraktion und histologischer Untersuchung Sensitivitäten und Spezifitäten von 0,93 und 0,60 (D1-Niveau) bzw. 0,53 und 0,77 (D3-Niveau) ermittelt. Sie kamen zum Schluss, dass das ICDAS-II auf dem D3-Niveau nicht so gut ist wie auf dem D1-Niveau. *Rodrigues et al.* [2012] konnten bei vier erfahrenen Zahnärzten keinen signifikanten Unterschied bezüglich Sensitivität und Spezifität vor und nach dem ICDAS-II E-Learning Programm feststellen. Dagegen konnten *Diniz et al.* [2010] bezüglich Sensitivität und Spezifität bei Studenten einen Unterschied vor und nach dem E-Learning Programm feststellen. So lag die Spezifität vor dem E-Learning Programm bei 0,36, was bedeutet, dass viele gesunde Stellen auf der Okklusalfäche fälschlicherweise als kariös eingestuft wurden. Nach dem Programm verbesserte sich die Spezifität signifikant und lag bei 0,77. Die Sensitivität verminderte sich nach dem Programm nur wenig ( $SE_{\text{vor}} = 0,92$  und  $SE_{\text{nach}} = 0,87$ ). *Parviainen et al.* [2013] ermittelten für die Sensitivität und Spezifität von 57 Studenten im dritten Jahr des Zahnmedizinstudiums gute Werte von 0,78 und 0,87 auf dem D3-Niveau (ICDAS cut-off 2/3). Studenten konnten in ihrer Studie vor allem tiefe kariöse Läsionen richtig evaluieren. Die Studie von *Jablonski-Momeni et al.* [2013] zeigte sowohl für das D1-Niveau ( $SE = 97,7\%$  und  $SP = 80\%$ ) als auch für das D3-Niveau ( $SE = 70,6\%$  und  $SP = 96\%$ ) gute Werte für die Sensitivität und Spezifität. Die tatsächliche Tiefe der Okklusalkaries wurde allerdings nicht durch die histologische Untersuchung, sondern durch Aufziehen der Fissur ermittelt. Ebenfalls 2013 konnten *Piovesan et al.* an 16 graduierten Zahnmedizinstudenten auf dem D1-Niveau (ICDAS cut-off 0/1) eine Sensitivität und Spezifität von 0,724 und 0,844 ermitteln. Auf dem D3-Niveau lagen die Werte für die Okklusalfächen bei 0,563 und 0,920. Im Unterschied zu anderen Studien lagen somit auf beiden Niveaus die Spezifitäten höher als die Sensitivitäten. In einer aktuellen Studie von *Neuhaus et al.* [2014] wurden auf dem D1-Niveau eine Sensitivität und Spezifität von 0,33 und 0,84 ermittelt. Auf dem D3-Niveau lagen Sensitivität und Spezifität bei 0,04 und 0,89. Sie halten aus ihren Ergebnissen die Kombination von ICDAS-II mit Bissflügel aufnahmen am besten geeignet für die Diagnose der Okklusalkaries.

Auch an Milchzähnen wurden Sensitivität und Spezifität des ICDAS-II untersucht. Es wurden auf dem D1-Niveau Sensitivitäten bzw. Spezifitäten von 0,92 bzw. 0,79 [Braga et al., 2009], 0,754 bzw. 0,90 [Shoaib et al., 2009] und 0,82 bzw. 0,65 [Neuhaus et al., 2011] ermittelt. Auf dem D3-Niveau lagen Sensitivität bzw. Spezifität bei 0,78 bzw. 0,94 [Braga et al., 2009], 0,631 bzw. 0,928 [Shoaib et al., 2009] und 0,83 bzw. 0,85 [Neuhaus et al., 2011]. Eine neuere Studie von *Souza et al.* [2013] an Milchzähnen konnte für das ICDAS-II auf dem D1-Niveau eine höhere Sensitivität (0,75) als Spezifität aufweisen. Das D2-Niveau (Karies bis zur

inneren Hälfte des Schmelzes und Dentinkaries zusammen) wies eine höhere Sensitivität (0,83) bei statistisch signifikant niedrigerer Spezifität (0,70) auf. Auf dem D3-Niveau lag wiederum die Spezifität höher (0,94).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass das ICDAS-II sowohl für erfahrene als auch unerfahrene Untersucher gute Werte für die Sensitivität und Spezifität aufweist und somit ohne technischen Aufwand gut für die visuelle Grunduntersuchung geeignet ist.

In der Literatur werden zur Bestimmung von Sensitivität und Spezifität des ICDAS-II verschiedene cut-off Werte sowohl für das ICDAS-II als auch für die histologische Einteilung verwendet, was zu unterschiedlichen Werten führt. Außerdem variieren die histologische Aufbereitung und Klassifikation ebenfalls zwischen den Studien. Einheitliches Vorgehen könnte den Vergleich der Werte für Sensitivität und Spezifität vereinfachen.

## 6.4 Klinische Relevanz

In dieser Studie konnte gezeigt werden, dass jemand, der kaum klinische Erfahrung hat und das ICDAS-II neu erlernt, bereits nach kurzer Zeit gute Werte für die Sensitivität und Spezifität aufweist. Ebenso gute Werte wurden für die Intra- und Inter-Untersucher Reproduzierbarkeit des ICDAS-II für den erfahrenen und unerfahrenen Untersucher berechnet. Die hohen Reproduzierbarkeiten sprechen für den Einsatz dieses Verfahrens zur Verlaufskontrolle und für die Anwendung durch unerfahrene Untersucher, die das System neu erlernen.

Da das ICDAS-II als ein differenziertes, visuelles Kariesdiagnoseverfahren auch Initiailläsionen erfasst, eignet sich das Verfahren gut dafür, die Wirksamkeit von Prophylaxemaßnahmen zu untersuchen und unterschiedliche Gruppen in epidemiologischen Studien zu vergleichen, wie auch die Studie von *Jablonski-Momeni et al.* [2014c] belegt.

Dennoch sind je nach Festlegung der Kariesextension der alleinigen visuellen Beurteilung Grenzen gesetzt. Daher sollte der Behandler nach der visuellen Untersuchung, falls nötig, weitere diagnostische Maßnahmen hinzuziehen, wie z.B. Bissflügelaufnahmen. So zeigten *Rodrigues et al.* [2008], dass das visuelle Verfahren ICDAS-II zusammen mit Bissflügelaufnahmen die beste diagnostische Kombination für die Diagnose der Okklusalkaries darstellt.

Die Inter-Untersucher Reproduzierbarkeit der analogen und digitalen Radiographie zwischen dem erfahrenen und unerfahrenen Untersucher zeigten in unserer Studie nur ausreichend bis moderate Übereinstimmung. Dies lag in der unterschiedlichen klinischen Erfahrung beider Untersucher. Bereits früher stellten *Lazarchik et al.* [1995] ebenfalls fest, dass Studenten und



Lehrende der Zahnmedizin unterschiedliche Fähigkeiten besitzen, Okklusalkaries auf Röntgenbildern zu evaluieren, und Training und Erfahrung insbesondere die Inter-Untersucher Reproduzierbarkeit beeinflusst.

Da die vorliegende Arbeit in-vitro durchgeführt wurde, können nicht alle Ergebnisse auf eine in-vivo Situation übertragen werden. Dennoch ist es sinnvoll, im Vorfeld einer in-vivo Studie in-vitro Untersuchungen durchzuführen, um weiterführende Studien effizienter und medizinisch aussagekräftiger gestalten zu können.

Ein Ansatz für weitergehende Untersuchungen könnte sein, eine größere Anzahl von erfahrenen und unerfahrenen Untersuchern sowie deren Training zu analysieren, um das ICDAS-II im zahnärztlichen Alltag und in der Lehre effizienter zu etablieren.

## 7 Zusammenfassungen

### 7.1 Zusammenfassung

#### **Reproduzierbarkeit, Sensitivität und Spezifität des International Caries Detection and Assessment System (ICDAS-II) zur Diagnose der Okklusalkaries –eine in vitro Studie**

**Problemstellung:** Mit dem ICDAS-II wurde 2005 ein visuelles Kariesdiagnoseverfahren eingeführt, das es ermöglicht, sowohl initiale als auch manifeste Läsionen zu erfassen. Im Fall von klinisch fragwürdigen Befunden können ergänzend weiterführende diagnostische Hilfsmittel angewandt werden. Geläufig sind hierbei die analoge und immer mehr die digitale Radiologie. Bisher liegen nur wenige Daten darüber vor, wie Sensitivität, Spezifität und Reproduzierbarkeit sowie die Korrelationen des ICDAS-II mit der analogen und digitalen Radiologie bzw. Histologie für einen unerfahrenen Untersucher, der das System neu erlernt, verglichen mit einem erfahrenen Untersucher sind.

**Ziel:** Ziel der Studie war es, die Reproduzierbarkeit, Sensitivität und Spezifität des ICDAS-II zur Diagnose der Okklusalkaries zu untersuchen, jeweils für einen erfahrenen und unerfahrenen Zahnarzt. Daneben sollte für beide Untersucher überprüft werden, wie die visuellen Befunde mit den Befunden der analogen und digitalen Radiographie, sowie der Histologie der entsprechenden Zahnhartschnitte korrelieren.

**Material und Methode:** 100 extrahierte bleibende Seitenzähne wurden gereinigt, mit einer laufenden Nummer markiert und in Wasser gelagert. Die Okklusalflächen der Zähne wurden digital fotografiert, je Okklusalfläche wurden 1-4 Messpunkte in den Fissuren ausgewählt (n=181). Nach Unterweisung einer Studentin in das ICDAS-II durch eine erfahrene Zahnärztin wurden die Okklusalflächen von beiden Untersuchern unabhängig voneinander nach den Kriterien des ICDAS-II befundet. Zur Untersuchung der Intra-Untersucher Reproduzierbarkeit wurde die visuelle Untersuchung nach drei Wochen wiederholt. Es wurden analoge und digitale Röntgenbilder der 100 Zähne hergestellt. Diese wurden von beiden Untersuchern unabhängig voneinander befundet. Im Anschluss wurden von allen Zähnen Serienschnitte mit einer Dicke von etwa 200µm hergestellt. Nach digitaler Fotografie der Zahnhartschnitte und korrekter Zuordnung der Messpunkte auf Befundbögen wurden diese von beiden Untersuchern mit einem Stereo-Makroskop unter Auflicht nach den *Downer*-Kriterien befundet.

**Statistik:** Die statistische Auswertung erfolgte mit SPSS (14.0). Als Maß für die Inter- und Intra-Untersucher Reproduzierbarkeit für das ICDAS-II, analoge und digitale Röntgen sowie

für die histologische Untersuchungen wurden einfache und gewichtete Cohens-Kappa Werte berechnet. Die Korrelation zwischen allen Verfahren (ICDAS-II, analoges und digitales Röntgen, Histologie) wurde mit der Rangkorrelation nach Spearman ( $r_s$ ) ermittelt. Die Sensitivität und Spezifität für das ICDAS-II wurden für das D1- und D3- Niveau angegeben.

**Ergebnisse:** Der ermittelte einfache Inter-Untersucher Kappa-Wert der visuellen Untersuchung nach ICDAS-II betrug 0,36 und lag somit im ausreichenden Bereich. Der gewichtete Kappa-Wert lag mit 0,63 im substantiellen Bereich. Für die Intra-Untersucher Reproduzierbarkeit wurden ebenfalls gewichtete und einfache Kappa-Werte erhoben. Der einfache Kappa-Wert betrug für den erfahrenen Zahnarzt 0,67 und lag somit im substantiellen Bereich, der gewichtete Kappa-Wert mit 0,83 im fast perfekten Bereich. Für den unerfahrenen Zahnarzt lag der einfache Kappa-Wert im moderaten Bereich (0,53) und der gewichtete Kappa-Wert im substantiellen Bereich (0,72). Die ermittelten einfachen bzw. gewichteten Inter-Untersucher Kappa-Werte für die analoge Radiographie lagen im ausreichenden (0,36) bzw. moderaten (0,43) Bereich. Für die digitale radiologische Untersuchung betrugen die Inter-Untersucher Kappa-Werte 0,28 (einfacher Kappa-Wert) bzw. 0,33 (gewichteter Kappa-Wert) und sind somit als ausreichend zu bewerten. Die Korrelation zwischen den visuellen Befunden und den Befunden der analogen bzw. digitalen Radiographie lagen sowohl für den erfahrenen Zahnarzt ( $r_s = 0,59$  bzw.  $r_s = 0,56$ ) als auch für den unerfahrenen Zahnarzt ( $r_s = 0,53$  bzw.  $r_s = 0,42$ ) im moderaten Bereich. Auch die Korrelation der visuellen und histologischen Befunde beider Untersucher lagen im moderaten Bereich ( $r_s = 0,54$  für den erfahrenen bzw.  $r_s = 0,50$  für den unerfahrenen Zahnarzt). Die Sensitivität bzw. Spezifität für die visuelle Untersuchung nach ICDAS-II lagen für den erfahrenen Zahnarzt auf dem D1-Niveau bei 92,2% bzw. 38,8% und auf dem D3-Niveau bei 78,7% bzw. 81,3%. Die Werte für die Sensitivität bzw. Spezifität für den unerfahrenen Zahnarzt betrugen für das D1-Niveau 98,4% bzw. 30,0% und für das D3-Niveau 62,1% bzw. 79,6%.

**Diskussion und Schlussfolgerung:** In dieser Studie konnte gezeigt werden, dass ein Untersucher mit geringer klinischer Erfahrung das ICDAS-II erlernen kann und bereits nach kurzer Zeit gute Werte für die Sensitivität, Spezifität und Reproduzierbarkeit aufweist. Somit kann das ICDAS-II gut im zahnärztlichen Alltag und in der Lehre etabliert werden.

Die Korrelationen des ICDAS-II mit den Befunden der analogen und digitalen Radiologie sowie Histologie waren für beide Untersucher unterschiedlich, lagen jedoch für beide im moderaten Bereich. Diese Unterschiede resultieren möglicherweise aus der unterschiedlich langen klinischen Erfahrung beider Untersucher.

## 7.2 Zusammenfassung Englisch

### **Reproducibility, sensitivity and specificity of the International Caries Detection and Assessment System (ICDAS-II) for the Detection of occlusal caries –an in-vitro study**

The International Caries Detection and Assessment System (ICDAS-II), introduced in 2005, is a visual caries detection system which detects and differentiates both initial and advanced carious dental lesions. Until now, only few studies investigated sensitivity, specificity and reproducibility of examiners with different clinical experience as well as the correlation of ICDAS-II with radiographical and histological findings.

**Aim:** The aim of this study was to compare reproducibility, sensitivity and specificity of the ICDAS-II applied by an experienced and an inexperienced examiner. Furthermore, the correlations between visual findings versus analog and digital radiographic findings as well as versus histological results were assessed.

**Material and methods:** 100 human extracted teeth (85 molars and 15 premolars) were available for this study. The teeth were cleaned, numbered and stored in water. Digital photographs were made of each occlusal surface and 1-4 examination points were chosen (n=181). Prior to the visual examination the experienced examiner trained the inexperienced examiner in the ICDAS-II system. Afterwards the teeth were examined visually by means of ICDAS-II by both investigators blind to each other. After three weeks, the visual examination was repeated in order to analyze the intraexaminer reproducibility. Moreover, analog and digital X-ray images were made of all teeth and separately investigated by the two examiners. Thereafter, the teeth were serially sectioned and the lesion depth was assessed microscopically by the *Downer*-criteria.

**Statistics:** The data were analyzed with SPSS (14.0). To determine reproducibility, Cohen's kappa ( $\kappa$ ) was calculated. Spearman's rank correlation coefficient ( $r_s$ ) was used to illustrate the correlation. Sensitivity and specificity were measured for D1 and D3 diagnostic threshold.

**Results:** The unweighted and weighted interexaminer reproducibility of the visual examination by the means of ICDAS-II were 0.36 and 0.63, respectively. For the experienced examiner the unweighted and weighted intraexaminer kappa values were 0.67 and 0.83. The unweighted and weighted intraexaminer kappa values of the inexperienced examiner were 0.53 and 0.72. The assessed unweighted and weighted interexaminer kappa values were 0.36 and 0.43 for the analog radiography and 0.28 and 0.33 for the digital radiography. The Spearman rank correlation coefficient for the correlations between the visual findings and the analog and digital radiography of both the experienced ( $r_s = 0.59$  resp.  $r_s = 0.56$ ) and inexperienced examiner ( $r_s = 0.53$  resp.  $r_s = 0.42$ ) were moderate. The correlation of the visual

and histological findings was  $r_s = 0.54$  for the experienced and  $r_s = 0.50$  for the inexperienced examiner. Sensitivity and specificity of the visual examination (ICDAS-II) for the experienced examiner were 92.2% resp. 38.8% at the D1 diagnostic threshold and 78.7% resp. 81.3% at the D3 diagnostic threshold. For the inexperienced examiner the values for sensitivity and specificity were 98.4% resp. 30.0% at the D1 diagnostic threshold and 62.1% resp. 79.6% at the D3 diagnostic threshold.

**Conclusion:** This comparative study shows that even an inexperienced examiner can achieve good sensitivity, specificity and reproducibility values after a short introduction. Therefore, ICDAS-II can be used in daily practice and in education. The differences in the correlation between the visual findings and both radiographic and histologic results might depend on the clinical experience of the examiner.

## 8 Literaturverzeichnis

1. Adam D, Christ W: Antibiotika und Chemotherapeutika. Pharmakologie und Toxikologie. BI Wissenschaftsverlag Mannheim 1987.
2. Agustsdottir H, Gudmundsdottir H, Eggertsson H, Jonsson S, Gudlaugsson J, Saemundsson S, Eliasson S, Arnadottir I, Holbrook W: Caries prevalence of permanent teeth: a national survey of children in Iceland using ICDAS. Community Dent Oral Epidemiol 38, 299-309 (2010).
3. Almerich Silla J, Montiel Company J: Oral health survey of the child population in the Valencia Region of Spain. Med Oral Patol Oral Cir Bucal 11, 369-381 (2006).
4. Angmar-Mansson B, ten Bosch JJ: Quantitative light-induced fluorescence (QLF): a method for assessment of incipient caries lesions. Dentomaxillofac Radiol 30, 298-307 (2001).
5. Ari T, Ari N: The Performance of ICDAS-II Using Low-Powered Magnification with Light-Emitting Diode Headlight and Alternating Current Impedance Spectroscopy Device for Detection of Occlusal Caries on Primary Molars. ISRN Dent 2013; 2013:276070. doi: 10.1155/2013/276070 (2013).
6. Ashley PF, Blinkhorn AS, Davies RM: Occlusal caries diagnosis: an in vitro histological validation of the Electronic Caries Monitor (ECM) and other methods. J Dent 26, 83-88 (1998).
7. Astvaldsdóttir A, Ahlund K, Holbrook WP, de Verdier B, Tranæus S: Approximal Caries Detection by DIFOTI: In Vitro Comparison of Diagnostic Accuracy/ Efficacy with Film and Digital Radiography. Int J Dent 2012, 326-401 (2012).
8. Backer-Dirks OB, Houwink B, Kwant GW: The results of 6 ½ years of artificial fluoridation of drinking water in the Netherlands. The Thiel-Culemborg experiment. Arch Oral Biol 5, 284-300 (1961).
9. Bader JD, Shugars DA, Bonito AJ: A systematic review of the performance of methods for identifying carious lesions. J Public Health Dent 62, 201-213 (2002).
10. Bader JD, Shugars DA, Bonito AJ: Systematic reviews of selected dental caries diagnostic and management methods. J Dent Educ 65, 960-968 (2001).
11. Bader JD, Shugars DA: A systematic review of the performance of a laser fluorescence device for detecting caries. J Am Dent Assoc 135, 1413-1426 (2004).
12. Banerjee A, Boyde A: Autofluorescence and mineral content of carious dentine: scanning optical and backscattered electron microscopic studies. Caries Res 32, 219-226 (1998).
13. Barberia E, Maroto M, Arenas M, Silva CC: A clinical study of caries diagnosis with a laser fluorescence system. J Am Dent Assoc 139, 572-579 (2008).
14. Berry HM Jr: Cervical burnout and Mach band: two shadows of doubt in radiologic interpretation of carious lesions. J Am Dent Assoc 106, 622-625 (1983).

15. Bin-Shuwaish M, Yaman P, Dennison J, Neiva G: The correlation of DIFOTI to clinical and radiographic images in Class II carious lesions. *J Am Dent Assoc* 139, 1374-1381 (2008).
16. Bjørndal L, Darvann T, Lussi A: A computerized analysis of the relation between the occlusal enamel caries lesion and the demineralized dentin. *Eur J Oral Sci.* 107, 176-182 (1999).
17. Bonner BC, Bourgeois DM, Douglas GV, Chan K, Pitts NB: The feasibility of data collection in dental practices, using codes for the International Caries Detection and Assessment System (ICDAS), to allow European general dental practitioners to monitor dental caries at local, national and international levels. *Prim Dent Care* 18, 83-90 (2011).
18. Braga MM, Ekstrand KR, Martignon S, Imparato JC, Ricketts DN, Mendes FM: Clinical performance of two visual scoring systems in detecting and assessing activity status of occlusal caries in primary teeth. *Caries Res* 44, 300-308 (2010a).
19. Braga MM, Mendes FM, Ekstrand KR: Detection activity assessment and diagnosis of dental caries lesions. *Dent Clin N Am* 54, 479-493 (2010b).
20. Braga MM, Mendes FM, Imparato JC, Rodrigues CR : Effect of cut-off points on performance of laser fluorescence for detecting occlusal caries. *J Clin Pediatr Dent* 32, 33-36 (2007).
21. Braga MM, Mendes FM, Martignon S, Ricketts DN, Ekstrand KR: In vitro comparison of Nyvad's system and ICDAS-II with Lesion Activity Assessment for evaluation of severity and activity of occlusal caries lesions in primary teeth. *Caries Res* 43, 405-412 (2009a).
22. Braga MM, Morais CC, Nakama RC, Leamari VM, Siqueira WL, Mendes FM: In vitro performance of methods of approximal caries detection in primary molars. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 108, 35-41 (2009b).
23. Braga MM, Oliveira LB, Bonini GA, Bönecker M, Mendes FM: Feasibility of the International Caries Detection and Assessment System (ICDAS-II) in epidemiological surveys and comparability with standard World Health Organization criteria. *Caries Res* 43, 245-249 (2009c).
24. Brathall D: Introducing the Significant Caries Index together with a proposal for a new global oral health goal for 12-year-olds. *Int Dent J* 50, 378-384 (2000).
25. Buchalla W, Attin T, Niedmann Y, Niedmann PD, Lennon AM: Porphyrins are the cause of red fluorescence of carious dentine: verified by gradient reversed-phase HPLC. *Caries Res* 42, 223 (2008).
26. Burket LW: The accuracy of clinical and roentgenologic diagnosis of dental caries as determined by microscopic studies. *J Dent Res* 20, 71-76 (1941).
27. Carvalho JC, Ekstrand KR, Thylstrup A: Dental plaque and caries on occlusal surface of first permanent molars in relation to stage of eruption. *J Dent Res* 68, 773-779 (1989).

28. Chesters RK, Pitts NB, Matuliene G, Kvedariene A, Huntington E, Bendinskaite R, Balciuniene I, Matheson JR, Nicholson A, Gendvilyte A, Sabalaite R, Ramanauskiene J, Savage D, Mileriene J: An abbreviated caries clinical trial design validated over 24 months. *J Dent Res* 81, 637-640 (2002).
29. Chong MJ, Seow WK, Purdie DM, Cheng E, Wan V: Visual-tactile examination compared with conventional radiography, digital radiography, and Diagnodent in the diagnosis of occlusal occult caries in extracted premolars. *Pediatr Dent* 25, 341-349 (2003).
30. Clara J, Bourgeois D, Muller-Bolla M: DMF from WHO basic methods to ICDAS II advanced methods : a systematic review of literature. *Odontostomatol Trop* 139, 5-11 (2012).
31. Cohen J: Weighted kappa: nominal scales agreement with provision for scaled disagreement on partial credit. *Psychol Bull* 70, 213-220 (1968).
32. Côrtes DF, Ellwood RP, Ekstrand KR: An in vitro comparison of a combined FOTI/visual examination of occlusal caries with other caries diagnostic methods and the effect of stain on their diagnostic performance. *Caries Res* 37, 8-16 (2003).
33. Crabb HSM: Fussures at risk. *Br Dent J* 140, 303-307 (1976).
34. de Amorim RG, Figueiredo MJ, Leal SC, Mulder J, Frencken JE: Caries experience in a child population in a deprived area of Brazil, using ICDAS II. *Clin Oral Investig* 16, 513-520 (2012).
35. de Carvalho FG, de Fucio SB, Sinhoreti MA, Correr-Sobrinho L, Puppim-Rontani RM: Confocal laser scanning microscopic analysis of the depth of dentin caries-like lesions in primary and permanent teeth. *Br Dent J* 19, 139-144 (2008).
36. Diniz MB, Boldieri T, Rodrigues JA, Santos-Pinto L, Lussi A, Cordeiro RC: The performance of conventional and fluorescence-based methods for occlusal caries detection: an in vivo study with histologic validation. *J Am Dent Assoc* 143, 339-350 (2012a).
37. Diniz MB, Lima LM, Eckert G, Zandona AG, Cordeiro RC, Pinto LS: In vitro evaluation of ICDAS and radiographic examination of occlusal surfaces and their association with treatment decisions. *Oper Dent* 36, 133-142 (2011).
38. Diniz MB, Lima LM, Santos-Pinto L, Eckert GJ, Zandona AG, Cordeiro RCL: Influence of the ICDAS E-Learning program for occlusal caries detection on dental students. *J Dent Education* 74, 862-868 (2010).
39. Diniz MB, Rodrigues JA, Hug I, Cordeiro RCL, Lussi A: Reproducibility and accuracy of the ICDAS-II for occlusal caries detection. *Community Dent Oral Epidemiol* 37, 399-404 (2009).
40. Diniz MB, Rodrigues JA, Lussi A: Traditional and novel caries detection methods. *Contemporary Approach to Dental Caries* (2012b).
41. Dove SB: Radiographic diagnosis of dental caries. *J Dent Educ* 65, 985-990 (2001).



42. Downer MC: Concurrent validity of an epidemiological diagnostic system for caries with the histological appearance of extracted teeth as validating criterion. *Caries Res* 9, 231-246 (1975).
43. Ekstrand KR, Ricketts DN, Longbottom C, Pitts NB: Visual and tactile assessment of arrested initial enamel carious lesions: an in vivo pilot study. *Caries Res* 39, 173-177 (2005).
44. Ekstrand KR, Ricketts DNJ, Kidd EAM, Qvist V, Schou S: Detection, diagnosis, monitoring and logical treatment of occlusal caries in relation to lesion activity and severity: an in vivo examination with histological validation. *Caries Res* 32, 247-254 (1998).
45. Ekstrand KR, Ricketts DNJ, Kidd EAM: Reproducibility and accuracy of three methods for assessment of demineralization depth of the occlusal surface: an in vitro examination. *Caries Res* 31, 224-231 (1997).
46. Elderrat AH, Wood DJ, Kale GM, High AS: Age-related changes in ac-impedance spectroscopy studies of normal human dentine: further investigations. *J Mater Sci Mater Med* 21, 45-51 (2010).
47. Espelid I, Tveit AB, Fjelltveit A: Variations among dentists in radiographic detection of occlusal caries. *Caries Res* 28, 169-175 (1994).
48. Fiorentini A: Mach band phenomena. *Handbook of Sensory Physiology Vol BII/4*, 188–201, Springer-Verlag, Berlin 1972.
49. Foley JJ: Dental students consistency in applying the ICDAS system within paediatric dentistry. *Eur Arch Paediatr Dent* 13, 319-322 (2012).
50. Francescut P, Lussi A: Correlation between fissure discoloration, DIAGNOdent measurements and caries depth: an in vitro study. *Pediatr Dent* 25, 559-564 (2003).
51. Francescut P, Zimmerli B, Lussi A: Influence of different storage methods on laser fluorescence values: a two-year study. *Caries Res* 40, 181-185 (2006).
52. Fried D, Staninec M, Darling CL: Near-Infrared Imaging of Dental Decay at 1310 nm. *J Laser Dent* 18, 8-16 (2010).
53. Fyffe HE, Deery CH, Nugent ZJ, Nuttall NM, Pitts NB: Effect of diagnostic threshold on the validity and reliability of epidemiological caries diagnosis using the Dundee Selectable Threshold Method for caries diagnosis (DSTM). *Community Dent Oral Epidemiol* 28, 42-51 (2000a).
54. Fyffe HE, Deery CH, Nugent ZJ, Nuttall NM, Pitts NB: In vitro validity of the Dundee Selectable Threshold Method for caries diagnosis (DSTM). *Community Dent Oral Epidemiol* 28, 52-58 (2000b).
55. Gimenez T, Bittar D, Piovesan C, Guglielmi C, Fujimoto K, Matos R, Navaes T, Braga M, Mendes F: Influence of the examiners' experience on clinical performance of visual inspection in detecting and assessing the activity status of caries lesions. *Oper Dent* 38, 583-590 (2013).

56. Gomez J, Zakian C, Salsone S, Pinto SC, Taylor A, Pretty IA, Ellwood R: In vitro performance of different methods in detecting occlusal caries lesions. *J Dent* 41, 180-186 (2013).
57. Grouven U, Bender R, Ziegler A, Lange S: Vergleich von Messmethoden. *Dtsch Med Wochenschr* 132, 69-73 (2007)
58. Haak R, Wicht MJ, Ritter L, Kuskakis P, Noack MJ: Cone beam computed tomography for the detection of approximal carious cavitations. *Caries Res* 34, 103-108 (2006).
59. Hannigan A, O'Mullane DM, Barry D, Schäfer F, Roberts AJ: A caries susceptibility classification of tooth surfaces by survival time. *Caries Res* 34, 103-108 (2000).
60. Harms V: Biomathematik, Statistik und Dokumentation. Harms Verlag 1992.
61. Heinrich R, Künzel W, Tawfiq H: Approximale Kariesdiagnostik – Vergleich klinischer, faseroptischer und röntgenographischer Diagnostikverfahren. *Dtsch Zahn-Mund-Kieferheilkd* 79, 535-542 (1991).
62. Heinrich-Weltzien R, Haak R, Buchalla W, Kühnisch J: Kariesdiagnostik - eine Herausforderung für den Zahnarzt? *ZWR* 117, 160-168 (2008).
63. Heinrich-Weltzien R, Kühnisch J, Oehme T, Weerheijm K, Stöber L: Okklusalkaries-Diagnostik – Ein Vergleich von DIAGNOdent mit konventionellen Methoden. *Oralprophylaxe* 25, 77-80 (2003).
64. Heinrich-Weltzien R, Kühnisch J, Weerheijm K, Stöber L: Diagnostik der versteckten Okklusalkaries mit Bissflügel-Aufnahmen. *Dtsch Zahnärztl Z* 56, 476-480 (2001).
65. Heinrich-Weltzien R, Kühnisch J: Stellenwert der Bissflügel-Röntgenaufnahme zur Kariesdiagnostik bei Kindern und Jugendlichen. *ZWR* 116, 157-164 (2007).
66. Hellwig E, Klimek J, Attin T: Einführung in die Zahnerhaltung. Deutscher Ärzte-Verlag Köln 2009.
67. Hintze H, Wenzel A, Larsen MJ: Stereomicroscopy, film radiography, microradiography and naked-eye inspection of tooth sections as validation for occlusal caries lesions. *Caries Res* 29, 359-363 (1995).
68. Hujoel P, Mäkinen K, Bennett CB, Isokangas PJ, Isotupa KP, Pape JRH, Lamont RJ, DeRouen TA, Davis S: Do caries explorers transmit infections within persons? An evaluation of second molar caries onsets. *Caries Res* 29, 461-466 (1995).
69. Huysmans M, Longbottom C: The challenges of validating diagnostic methods and selecting appropriate gold standards. *J Dent Res* 83 (Spec Iss C), C48-C52 (2004).
70. Ifland S, Kühnisch J, Heinrich-Weltzien R: Die quantitative lichtinduzierte Fluoreszenz (QLF). *ZWR* 113, 254-258 (2004).
71. International Caries Detection and Assessment System (ICDAS) Coordinating Committee: The rationale and evidence for the International Caries Detection and Assessment System (ICDAS-II) & Criteria Manual, Baltimore 2005 (<http://www.icdas.org/>).

72. International Caries Detection and Assessment System Coordinating Committee: Criteria Manual - International Caries Detection and Assessment System (ICDAS-II) Bogota & Budapest 2009.
73. Iranzo-Cortés JE, Montiel-Company JM, Almerich-Silla JM: Caries diagnosis: agreement between WHO and ICDAS II criteria in epidemiological surveys. *Community Dent Health*. 30, 108-111 (2013).
74. Ismail AI, Sohn W, Tellez M, Amaya A, Sen A, Hasson H, Pitts NB: The International Caries Detection and Assessment System (ICDAS): an integrated system for measuring dental caries. *Community Dent Oral Epidemiol* 35, 170-178 (2007).
75. Ismail AI: Clinical diagnosis of precavitated carious lesions. *Community Dent Oral Epidemiol* 25, 13-23 (1997).
76. Jablonski-Momeni A, Busche JF, Struwe C, Lange J, Heinzl-Gutenbrunner M, Frankenberger R, Pieper K: Use of the International Caries Detection and Assessment System Two-Digit Coding Method by Predoctoral Dental Students at Philipps University of Marburg, Germany. *J Dent Educ* 76, 1657-1666 (2012a).
77. Jablonski-Momeni A, Heinzl-Gutenbrunner M, Klein SM: In vivo performance of the VistaProof fluorescence-based camera for detection of occlusal lesions. *Clin Oral Invest* 18, 1757-1762 (2014a).
78. Jablonski-Momeni A, Hoppe R, Stachniss V: Einfluss der digitalen Bildbearbeitung auf das Beurteilungsergebnis des visuellen Kariesdetektions-verfahrens ICDAS durch Studenten. *DZZ* 69, 196-206 (2014b).
79. Jablonski-Momeni A, Klein S: Moderne elektronisch gestützte Karieserfassung. *Quintessenz* 65, 1077-1085 (2014c).
80. Jablonski-Momeni A, Lange J, Schmidt-Schäfer S, Petrakakis P, Heinzl-Gutenbrunner M, Pieper K: [Dental health in 12-year-old children including initial lesions and dentine caries]. *Gesundheitswesen* 76, 103-107 (2014d).
81. Jablonski-Momeni A, Liebegall F, Stoll R, Heinzl-Gutenbrunner M, Pieper K: Performance of a new fluorescence camera for detection of occlusal caries in vitro. *Lasers Med Sci* 28, 101-109 (2013).
82. Jablonski-Momeni A, Ricketts DN, Stachniss V, Maschka R, Heinzl-Gutenbrunner M, Pieper K: Occlusal caries: Evaluation of direct microscopy versus digital imaging used for two histological classification systems. *J Dent* 37, 204-211 (2009a).
83. Jablonski-Momeni A, Ricketts DN, Heinzl-Gutenbrunner M, Stoll R, Stachniss V, Pieper K: Impact of Scoring Single or Multiple Occlusal Lesions on Estimates of Diagnostic Accuracy of the Visual ICDAS-II System. *Int J Dent* Volume 2009, doi:10.1155/2009/798283 (2009b).
84. Jablonski-Momeni A, Ricketts DN, Rolfsen S, Stoll R, Heinzl-Gutenbrunner M, Stachniss V, Pieper K: Performance of laser fluorescence at tooth surface and histological section. *Lasers Med Sci* 26, 171-178 (2010a).

85. Jablonski-Momeni A, Ricketts DN, Weber K, Ziomek O, Heinzl-Gutenbrunner M, Schipper HM, Stoll R, Pieper K: Effect of Different Time Intervals between Examinations on the Reproducibility of ICDAS-II for Occlusal Caries. *Caries Res* 44, 267-271 (2010b).
86. Jablonski-Momeni A, Rosen SM, Schipper HM, Stoll R, Roggendorf MJ, Heinzl-Gutenbrunner M, Stachnis V, Pieper K: Impact of measuring multiple or single occlusal lesions on estimates of diagnostic accuracy using fluorescence methods. *Lasers Med Sci* 27, 343-352 (2012b)
87. Jablonski-Momeni A, Schipper HM, Rosen SM, Heinzl-Gutenbrunner M, Roggendorf MJ, Stoll R, Stachnis V, Pieper K: Performance of a fluorescence camera for detection of occlusal caries in vitro. *Odontology* 99, 55–61 (2011a).
88. Jablonski-Momeni A, Stachnis V, Ricketts DN, Heinzl-Gutenbrunner M, Pieper K: Reproducibility and accuracy of the ICDAS-II for detection of occlusal caries in vitro. *Caries Res* 42, 79-87 (2008a).
89. Jablonski-Momeni A, Stachnis V, Ricketts DN, Heinzl-Gutenbrunner M, Stoll R, Pieper K: Validierung des ICDAS-II zur Diagnose der Fissurenkaries – eine In-vitro Studie mittels Oberflächeninspektion und Histologie. *Dtsch Zahnärztl Z* 63, 343-349 (2008b).
90. Jablonski-Momeni A, Stachnis V: Microscopy: Serial sectioning of teeth and microscopy in cariology research. In: *Microscopy Book Series. Number 4, Vol. 2.* Méndez-Vilas A, Díaz J (Eds.): *Microscopy: Science, Technology, Applications and Education.* Formatex Research Center, Badajoz, Spain, pp. 785-791 (2011b).
91. Jablonski-Momeni A, Stucke J, Steinberg T, Heinzl-Gutenbrunner M: Use of ICDAS-II, Fluorescence- Based Method and Radiography in Detection and Treatment Decisions of Occlusal Caries Lesions: An In Vitro Study. *Int J Dent* 2012, 2012:371595 (2012c).
92. Jones RS, Huynh GD, Jones GC, Fried D: Near-infrared transillumination at 1310-nm for the imaging of early dental decay. *Optics Express* 11, 2259-2265 (2003).
93. Kamburoglu K, Senel B, Yüksel SP, Ozen T: A comparison of the diagnostic accuracy of in vivo and in vitro photostimulable phosphor digital images in the detection of occlusal caries lesions. *Dentomaxillofac Radiol* 39, 17-22 (2010).
94. Keem S, Elbaum M: Wavelet representations for monitoring changes in teeth imaged with digital imaging fiber-optic transillumination. *Trans Med Imag* 16, 653-663 (1997).
95. Keyes PH: Recent advances in dental caries research. Bacteriological findings and biological implications. *Int Dent J* 12, 443-464 (1962).
96. Kidd EAM, Pitts NB: A re-appraisal of the value of the bitewing radiograph in the diagnosis of posterior approximal caries. *Br Dent J* 169, 195-200 (1990).
97. Kiefer H, Lambrecht JT, Roth J: Dose exposure from analog and digital full mouth radiography and panoramic radiography. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 114, 687-693 (2004).

98. Kingman A: Statistical issues in risk models of caries; in Bader JD (ed): Risk assessment in dentistry. Chapel Hill, NC University of North Carolina Dental Ecology, 193-200 (1990).
99. Klimek J, Hellwig E, Ahrens G: Der Einfluß von Plaque auf die Fluorstabilität im Schmelz nach Applikation von Aminfluorid im künstlichen Mund. Dtsch Zahnärztl Z 37, 836-840 (1982).
100. König K, Flemming G, Hibst R: Laser-induced autofluorescence spectroscopy of dental caries. Cell mol Biol 44, 1293-1300 (1998).
101. König K: Karies und Kariesprophylaxe. Wilhelm Goldmann Verlag GmbH München 1971.
102. König KG: Dental morphology in relation to caries resistance with special reference to fissure as susceptible areas. J Dent Res 2, 461-476 (1963).
103. Kühnisch J, Berger S, Goddon I, Senkel H, Pitts N, Heinrich-Weltzien R: Occlusal caries detection in permanent molars according to WHO basic methods, ICDAS II and laser fluorescence measurements. Community Dent Oral Epidemiol 36, 475-484 (2008).
104. Kühnisch J, Bücher K, Henschel V, Albrecht A, Garcia-Godoy F, Mansmann U, Hickel R, Heinrich-Weltzien R: Diagnostic performance of the universal visual scoring system (UniViSS) on occlusal surfaces. Clin Oral Investig 15, 215-23 (2011).
105. Kühnisch J, Bücher K, Hickel R: The intra/inter-examiner reproducibility of the new DIAGNOdent Pen on occlusal sites. J Dent 35, 509-512 (2007a).
106. Kühnisch J, Goddon I, Senkel H, Monse-Schneider B, Oehme T, Hickel R, Heinrich-Weltzien R: Development of a universal visual scoring system (Uni-ViSS). Caries Res 41, 289 (2007b).
107. Kühnisch J, Haak R, Buchalla W, Heinrich-Weltzien R: Kariesdetektion und –diagnostik bei Kinder und Jugendlichen. Oralprophylaxe Kinderzahnheilkd 29, 16-171 (2007c).
108. Kühnisch J, Heinrich-Weltzien R, Weerheijm K, Stösser L: Diagnostischer Wert von Bissflügel-Aufnahmen zur Approximalkaries-Diagnostik im Seitenzahngebiet. Dtsch Zahnärztl Z 56, 594-597 (2001).
109. Kühnisch J, Heinrich-Weltzien R: Quantitative light-induced fluorescence (QLF) – a literature review. Int J Comp Dent 7, 325-338 (2004).
110. Kühnisch J, Ifland S, Tranæus S, Angmar-Månsson B, Hickel R, Stösser L, Heinrich-Weltzien R: Establishing quantitative light-induced fluorescence cut-offs for the detection of occlusal dentine lesions. Eur J Oral Sci 114, 483-488 (2006a).
111. Kühnisch J, Ifland S, Tranæus S, Hickel R, Stösser L, Heinrich-Weltzien R: In vivo detection of non-cavitated caries lesions on occlusal surfaces by visual inspection and quantitative light-induced fluorescence. Acta Odontol Scand 65, 183-188 (2007d).
112. Kühnisch J, Tabatabaie M, Viergutz G, Zraiki S, Hetzer G, Stösser L, Heinrich-Weltzien R: Vergleichende In-vitro-Untersuchung von zwei Verfahren zur elektrischen

- Widerstandsmessung an nicht kavitierten Okklusalfächen. Dtsch Zahnärztl Z 61, 131-136 (2006b).
113. Landis JR, Koch GG: The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 33, 159-174 (1977).
114. Lazarchik DA, Firestone AR, Heaven TJ, Filler SJ, Lussi A: Radiographic evaluation of occlusal caries: effect of training and experience. *Caries Res* 29, 355-358 (1995).
115. Lehmann K, Hellwig E: Einführung in die restaurative Zahnheilkunde. Urban und Schwarzenberg München 1998.
116. Levin RS: The aetiology of dental caries-an outline of current thought. *Int Dent J* 27, 341-348 (1997).
117. Loesche WJ, Svanberg ML, Pape HR: Intraoral transmission of *Streptococcus mutans* by the dental explorer. *J Dent Res* 58, 1765-1770 (1979).
118. Longbottom C, Hall AF, Czajczynska-Waszkiewicz A, Pitts NB, Los P, Kochan, S, Ricketts DJN: Caries detection by optimal clinical, radiographic, laser fluorescence and ac-Impedance spectroscopy techniques. *Caries Res* 41, 296-297 (2007).
119. Longbottom C, Huysmans MC: Electrical measurements for use in caries clinical trials. *J Dent Res* 83 (Spec Iss), C76-C79 (2004).
120. Longbottom C, Pitts NB, Hall AF, Young I: Utility of Micro-CT examination as a caries validating method with reference to histological serial sections. *Caries Res* 40, 343 (2006).
121. Ludlow JB, Davies-Ludlow LE, White SC: Patient risk related to common dental radiographic examinations: the impact of 2007 International Commission on Radiological Protection recommendations regarding dose calculation. *J Am Dent Assoc* 139, 1237-1243 (2008).
122. Lussi A, Francescut P, Schaffner M: Neue und konventionelle Methoden zur Diagnose der Fissurenkaries. *Quintessenz* 54, 1037-1046 (2003).
123. Lussi A, Hellwig E: Performance of a new laser fluorescence device for the detection of occlusal caries in vitro. *J Dent* 34, 467-471 (2006).
124. Lussi A, Hibst R, Paulus R: DIAGNOdent: an optical method for caries detection. *J Dent Res* 83, Spec No C: C80-3 (2004).
125. Lussi A, Hotz P, Stich H: Die Fissurenkaries. Diagnostik und therapeutische Grundsätze. *Dtsch Zahnärztl Z* 50, 629-634 (1995).
126. Lussi A, Imwinkelried S, Pitts N, Longbottom C, Reich E: Performance and reproducibility of a laser fluorescence system for detection of occlusal caries in vitro. *Caries Res* 33, 261-266 (1999).
127. Lussi A, Reich E: The influence of toothpastes and prophylaxis pastes on fluorescence measurements for caries detection in vitro. *Eur J Oral Sci* 113, 141-144 (2005).

128. Lussi A: Comparison of different methods for the diagnosis of fissure caries without cavitation. *Caries Res* 27, 409-416 (1993).
129. Lussi A: Impact of including or excluding cavitated lesions when evaluating methods for the diagnosis of occlusal caries. *Caries Res* 30, 389-393 (1996).
130. Lussi A: Methoden zur Diagnose und Verlaufsdia gnose der Karies. Wann bohren? *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 108, 357-364 (1998).
131. Lussi A: Validity of diagnostic and treatment decisions of fissure caries. *Caries Res* 25, 296-303 (1991).
132. Mach E: Über die Wirkung der räumlichen Vertheilung des Lichtreizes auf die Netzhaut. *Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften: Mathematisch-Naturwissenschaftliche Classe* 52, 303-322 (1865).
133. Marthaler TM: A standardized system of recording dental conditions. *Helv Odontol Acta* 10, 1-19 (1966).
134. Marthaler TM: Caries status in Europe and prediction of future trends. *Caries Res* 24, 381-396 (1990).
135. McHugh WD, McEwen JD, Hitchin AD: Dental disease and related factors in 13-year-old children in Dundee. *Br Dent J* 117, 246-253 (1964).
136. Mejåre I, Stenlund H, Zelezny-Holmlund C: Caries incidence and lesion progression from adolescence to young adulthood: A prospective 15-year cohort study in Sweden. *Caries Res* 38, 130-141 (2004).
137. Mendes FM, de Oliveira E, Araujo de Faria DL, Nicolau J: Ability of laser fluorescence device associated with fluorescent dyes in detecting and quantifying early smooth surface caries lesions. *J Biomed Opt* 11, 24007 (2006).
138. Micheelis W, Schiffner U: Vierte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS IV). Neue Ergebnisse zu oralen Erkrankungsprävalenzen, Risikogruppen und zum zahnärztlichen Versorgungsgrad in Deutschland 2005. Institut der Deutschen Zahnärzte (Hrsg.). Deutscher Zahnärzte Verlag Köln 2006.
139. Mileman PA, van den Hout WB: Comparing the accuracy of Dutch dentists and dental students in the radiographic diagnosis of dentinal caries. *Dentomaxillofac Radiol.* 31, 7-14 (2002).
140. Miller WD: Die Mikroorganismen der Mundhöhle. Leipzig 1889. Zitiert in: Hoffmann-Axthelm W: Die Geschichte der Zahnheilkunde. Quintessenz Verlag Berlin 1973.
141. Mitropoulos CM: A comparison of fiber-optic transillumination with bitewing radiographs. *Brit Dent J* 159, 21 (1985a).
142. Mitropoulos CM: The use of fibre-optic transillumination in the diagnosis of posterior approximal caries in clinical trials. *Caries Res* 19, 379-384 (1985b).
143. Mitropoulos P, Rahiotis C, Kakaboura A, Vougiouklakis G: The impact of magnification on occlusal caries diagnosis with implementation of the ICDAS II criteria. *Caries Res* 46, 82-86 (2012).

144. Møller IJ: Clinical criteria for the diagnosis of the incipient carious lesion. *Adv Fluorine Res* 4, 67-72 (1966).
145. Momeni A, Hartmann T, Born C, Heinzl-Gutenbrunner M, Pieper K: Association of caries experience in adolescents with different preventive measures. *Int. J. Public Health* 52, 393-401 (2007).
146. Mortensen D, Dannemand K, Twetman S, Keller MK: Detection of non-cavitated occlusal caries with impedance spectroscopy and laser fluorescence: an in vitro study. *Open Dent J* 8, 28-32 (2014).
147. Mortimer KV: Some histological features of fissure caries in enamel. *Adv Fluorine Res* 2, 85-94 (1964).
148. Mozzo P, Procacci C, Tacconi A, Tinazzi Martini P, Bergamo Andreis IA: A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: preliminary results. *Eur Radiol* 8, 1558-1564 (1998).
149. Nagano T: Relationship between the form of pit and fissure and the primary lesion of caries. *Dent Abstr* 6, 426 (1961).
150. Neuhaus KW, Ciucchi P, Rodrigues JA, Hug I, Emerich M, Lussi A: Diagnostic performance of a new red light LED device for approximal caries detection. *Lasers Med Sci* (2014) [Epub ahead of print].
151. Neuhaus KW, Ellwood R, Lussi A, Pitts NB: Traditional lesion detection aids. *Monogr Oral Sci* 21, 42-51 (2009).
152. Neuhaus KW, Rodrigues JA, Hug I, Stich H, Lussi A: Performance of laser fluorescence devices, visual and radiographic examination for the detection of occlusal caries in primary molars. *Clin Oral Investig* 15, 635-641 (2011).
153. Nyvad B, Machiulskiene V, Baelum V: Reliability of a new caries diagnostic system differentiating between active and inactive caries lesions. *Caries Res* 33, 252-260 (1999).
154. Obry-Musset AM, Cahen PM, Turlot JC, Frank RM: Approximal caries diagnosis in epidemiological studies: transillumination or bitewing radiographs? *J Biol Buccale* 16, 13-17 (1988).
155. Ormond C, Douglas G, Pitts N: The use of the International Caries Detection and Assessment System (ICDAS) in a National Health Service general dental practice as part of an oral health assessment. *Prim Dent Care* 17, 153-159 (2010).
156. Pereira AC, Eggertsson H, Moustafa A, Zero DT, Eckert GJ, Mialhe FL: Evaluation of three radiographic methods for detecting occlusal caries lesions. *Braz J Oral Sci.* 8, 67-70 (2009).
157. Parfitt GJ: A standard clinical examination of the teeth. *Br Dent J* 96, 296-300 (1954).
158. Parviainen H, Vähäniikkilä H, Laitala ML, Tjäderhane L, Anttonen V: Evaluating performance of dental caries detection methods among third-year dental students. *BMC Oral Health* 2013, 13:70 (2013).



159. Penning C, van Amerongen JP, Seef RE, ten Cate JM: Validity of probing for fissure caries diagnosis. *Caries Res* 26, 445-449 (1992).
160. Pereira AC, Eggertsson H, González-Cabezas C, Zero DT, Eckert GJ, Mialhe FL: Quantitative light-induced fluorescence (QLF) in relation to other technologies and conventional methods for detecting occlusal caries in permanent teeth. *Braz J Oral Sci* 10, 27-32 (2011).
161. Pieper K, Born C, Hartmann T, Heinzl-Gutenbrunner M, Jablonski-Momeni A: Association of preventive measures with caries experience expressed by outcome variables. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 117, 1038-1044 (2007).
162. Pieper K, Schurade B: Die Untersuchung mit der Kaltlicht-Diagnosesonde. Eine Alternative zum Flügelbißstatus. *Dtsch Zahnärztl Z* 42, 900 (1987).
163. Pieper K: Epidemiologische Begleituntersuchungen zur Gruppenprophylaxe 2009. Gutachten. DAJ, Bonn 2010.
164. Pieper K: Erste Erfahrungen mit einer neu entwickelten Kaltlicht-Diagnosesonde. *ZWR* 3, 262-263 (1986).
165. Pitts N: "ICDAS"- an international system for caries detection and assessment being developed to facilitate caries epidemiology, research and appropriate clinical management. *Commun Dent Health* 21, 193-198 (2004).
166. Pitts NB, Longbottom C, Hall AF, Czajczynska-Waszkiewicz A, Los P, Masalski M, Biecek M and Christie AM: Diagnostic Accuracy of an Optimised AC Impedance Device to Aid Caries Detection and Monitoring. *Caries Res* 42, 185-238 (2008).
167. Pitts NB: Clinical diagnosis of dental caries: a european perspective. *J Dent Educ* 65, 972-978 (2001).
168. Poorterman JHG, Aartman ICH, Kalsbeek H: Underestimation of the prevalence of approximal caries and inadequate restorations in a clinical epidemiological study. *Community Dent Oral Epidemiol* 27, 331-337 (1999).
169. Poorterman JHG, Aartman ICH, Kieft JA, Kalsbeek H: Value of bite-wing radiographs in a clinical epidemiological study and their effect on the DMFS index. *Caries Res* 34, 159-163 (2000).
170. Pretty IA: Caries detection and diagnosis: novel technologies. *J Dent* 34, 727-739 (2006).
171. Radike AW: Criteria for diagnosing dental caries. In: *Proceedings of the Conference on the Clinical Testing of Cariostatic Agents*. Chicago: American Dental Association, 87-88 (1968).
172. Raper HR: A new kind of x-ray examination for preventive dentistry. *Int J Orthod Oral Surg* 11, 76-86 (1925).
173. Rathore S, Tyndall D, Wright JT, Everett E: Ex vivo comparison of Galileos cone beam CT and intraoral radiographs in detecting occlusal caries. *Dentomaxillofacial Radiology* 41, 489-493 (2012)

174. Rechmann P, Charland D, Rechmann BM, Featherstone JD: Performance of laser fluorescence devices and visual examination for the detection of occlusal caries in permanent molars. *J Biomed Opt.* 17 (2012).
175. Richards D: Outcomes, what outcomes? Editorial. *Evid Based Dent* 6, 1 (2005)
176. Ricketts DN, Kidd EAM, Beighton D: Operative and microbiological validation of visual, radiographic and electronic diagnosis of occlusal caries in non-cavitated teeth judged to be in need of operative care. *Br Dent J* 179, 214-220 (1995a).
177. Ricketts DN, Kidd EAM, Wilson RF: A re-evaluation of electrical resistance measurements for the diagnosis of occlusal caries. *Br Dent J* 178, 11-17 (1995b).
178. Ricketts DNJ, Ekstrand KR, Kidd EAM, Larsen T: Relating visual and radiographic ranked scoring systems for occlusal caries detection to histological and microbiological evidence. *Operative Dent* 27, 231-237 (2002).
179. Ricketts DNJ, Kidd EAM, Liepins PJ, Wilson RF: Histological validation of electrical resistance measurements in the diagnosis of occlusal caries. *Caries Res* 30, 148-155 (1996).
180. Ricketts DNJ, Pitts NB: Traditional operative treatment options; in Pitts NB (ed): *Detection, Assessment, Diagnosis and Monitoring of Caries. Monogr Oral Sci vol 21*, 164-173 (2009).
181. Ricketts DNJ, Watson TF, Liepin PJ, Kidd EAM: A comparison of two histological validating techniques for occlusal caries. *J Dent* 26, 89-96 (1998).
182. Rock WP, Kidd EAM: The electronic detection of demineralisation in occlusal fissures. *Br Dent J* 164, 243-247 (1988).
183. Rodrigues JA, de Oliveira RS, Hug I, Neuhaus K, Lussi A: Performance of experienced dentists in Switzerland after an e-learning program on ICDAS occlusal caries detection. *J Dent Educ* 77, 1086-1091 (2013).
184. Rodrigues JA, Hug I, Diniz MB, Lussi A: Performance of fluorescence methods, radiographic examination and ICDAS II on occlusal surfaces in vitro. *Caries Res* 42, 297-304 (2008).
185. Rodrigues JA, Neuhaus KW, Diniz MB, Hug I, Stich H, Karlsson L, Lussi A: Comparison among gold standard techniques used for the validation of methods for occlusal caries detection. *Micr Res and Tech* 75, 605-608 (2012).
186. Rolfsen S: *Korrelation des International Caries Detection an Assessment System (ICDAS-II) zur okklusalen Kariesdiagnose mit Laserfluoreszenzmessungen – eine In-vitro-Studie [Dissertation]. Marburg: Philipps Universität (15.12.2009).*
187. Rother U: *Moderne bildgebende Diagnostik in der Zahn-, Mund-und Kieferheilkunde. München/Jena: Urban & Fischer, 37-42 (2001).*
188. Scheiderman A, Driller J: Assessment of dental caries with Digital Imaging Fiber Optic Transillumination in vitro study *Caries Research* 31, 103-110 (1997).

189. Schroeder H: Pathobiologie oraler Strukturen. 3. Auflage, Karger Verlag Basel 1997.
190. Schulte A, Pieper K: Elektrische Widerstandswerte in Fissuren kariesfreier Prämolaren von Erwachsenen und Kindern. Dtsch Zahnärztl Z 52, 741-744 (1997).
191. Schulte AG, Potts NB, Huysmans MC, Splieth C, Buchalla W: European core curriculum in cariology for undergraduate dental students. Eur J Dent Educ 15, 23-31 (2011).
192. Shi XQ, Tranæus S, Angmar-Månsson B: Comparison of QLF and DIAGNOdent for quantification of smooth surface caries. Caries Res 35, 21-26 (2001).
193. Shoaib L, Deery C, Ricketts DN, Nugent ZJ: Validity and reproducibility of ICDAS II in primary teeth. Caries Res 43, 442-448 (2009).
194. Silva M, Hopcraft M, Morgan M: Dental caries in Victorian nursing homes. Aust Dent J 59, 321-328 (2014).
195. Silverstone LM: Structure of carious enamel, including the early lesion. Oral Sci Rev 3, 100-160 (1973).
196. Sisodia N, Manjunath MK: Impact of low level magnification on incipient occlusal caries diagnosis and treatment decision making. J Clin Diagn Res 8, 32-35 (2014).
197. Söchtig F, Hickel R, Kühnisch J: Caries detection and diagnostics with near-infrared light transillumination: clinical experiences. Quintessence Int 45, 531-538 (2014)
198. Souza JF, Boldieri T, Diniz MB, Rodrigues JA, Lussi A, Cordeiro RC: Traditional and novel methods for occlusal caries detection: performance on primary teeth. Lasers Med Sci 28, 287-295 (2013).
199. Stachniss V: Zur Hartschnitt-Technik nicht entkalkter Zähne und digitale makrofotografische Reproduktion histologischer Präparate. Projektbericht. Marburg 2005.
200. Stoll R, Urban-Klein B, Giacomini P, Loukas A, Jablonski-Momeni A: In vivo assessment of caries excavation with a fluorescence camera compared to direct bacteriological sampling and quantitative analysis using flow cytometry. Lasers Med Sci 30, 843-849 (2015).
201. Tassery H, Sarraquigne C, Mazuir A: Mehr Orientierung und Unterstützung bei der Therapieentscheidung. DWZ 38, 10-12 (2009).
202. Teo TK, Ashley PF, Louca C: An in vivo and in vitro investigation of the use of ICDAS, DIAGNOdent pen and CarieScan PRO for the detection and assessment of occlusal caries in primary molar teeth. Clin Oral Investig 18, 737-744 (2014).
203. Terrer E, Koubi S, Dionne A, Weisrock G, Sarraquigne C, Mazuir A, Tassery H: A new concept in restorative dentistry: light-induced fluorescence evaluator for diagnosis and treatment. Part 1: Diagnosis and treatment of initial occlusal caries. J Contemp Dent Pract 10, 86-94 (2009).
204. Terrer E, Raskin A, Koubi S, Dionne A, Weisrock G, Sarraquigne C, Mazuir A, Tassery H: A new concept in restorative dentistry: LIFEDT-light-induced fluorescence evaluator

- for diagnosis and treatment: part 2 - treatment of dentinal caries. *J Contemp Dent Pract* 11, 95-102 (2010).
205. Thomas MF, Ricketts DN, Wilson RF: Occlusal caries diagnosis in molar teeth from bitewing and panoramic radiographs. *Prim Dent Care* 8, 63-69 (2001).
206. Thylstrup A, Fejerskov O: Textbook of Clinical Cariology. Munksgaard, Copenhagen 1994.
207. Topping GVA, Hally J, Bonner B, Pitts NB: International Caries Detection and Assessment System (ICDAS) e-learning Package. Interactive CD ROM and Web-based software. Smile-on, London 2008.
208. Tranaeus S, Al-Khateeb S, Björkman S, Twetman S, Angmar-Mansson B: Application of quantitative light-induced fluorescence to monitor incipient lesions in caries-active children: a comparative study of remineralisation by fluoride varnish and professional cleaning. *Eur J Oral Sci* 109, 71-75 (2001)
209. Tranaeus S, Shi XQ, Angmar-Mansson B. Caries risk assessment: methods available to clinicians for caries detection. *Community Dent Oral Epidemiol* 33, 265-273 (2005)
210. Tyndall DA, Ludlow JB, Platin E, Nair M: A comparison of Kodak Ektaspeed Plus film and the Siemens Sidexis digital imaging system for caries detection using receiver operating characteristic analysis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 85, 113-118 (1998).
211. Verdonschot EH, Bronkhorst EM, Burgersdijk RC, König KG, Schaeken MJ, Truin GJ: Performance of some diagnostic systems in examinations for small occlusal carious lesions. *Caries Res* 26, 59-64 (1992).
212. WHO: Oral health surveys. Basic methods, ed 4. World Health Organization, Geneva 1997
213. Weerheijm KL, Groen HJ, Bast AJ, Kieft JA, Eijkman MA, van Amerongen WE: Clinically undetected occlusal dentine caries: a radiographic comparison. *Caries Res* 26, 305-309 (1992).
214. Weerheijm KL, Kidd EAM, Groen HJ: The effect of fluoridation on the occurrence of hidden caries in clinically sound occlusal surfaces. *Caries Res* 31, 30-34 (1997).
215. Weiß C: Basiswissen Medizinische Statistik. 5. Auflage, Springer Verlag 2010.
216. Wenzel A, Borg E, Hintze H, Gröndahl HG: Accuracy of caries diagnosis in digital images from charge-coupled device and storage phosphor systems: an in vitro study. *Dentomaxillofac Radiol* 24, 250-254 (1995).
217. Wenzel A, Verdonschot EH, Truin GJ, König KG: Accuracy of visual inspection, fiber-optic transillumination and various radiographic image modalities for the detection of occlusal caries in extracted non-cavitated teeth. *J Dent Res* 71, 1934-1937 (1992).
218. Wenzel A: Bitewing and digital bitewing radiography for detection of caries lesions. *J Dent Res.* 83, Spec No C, 72-75 (2004).

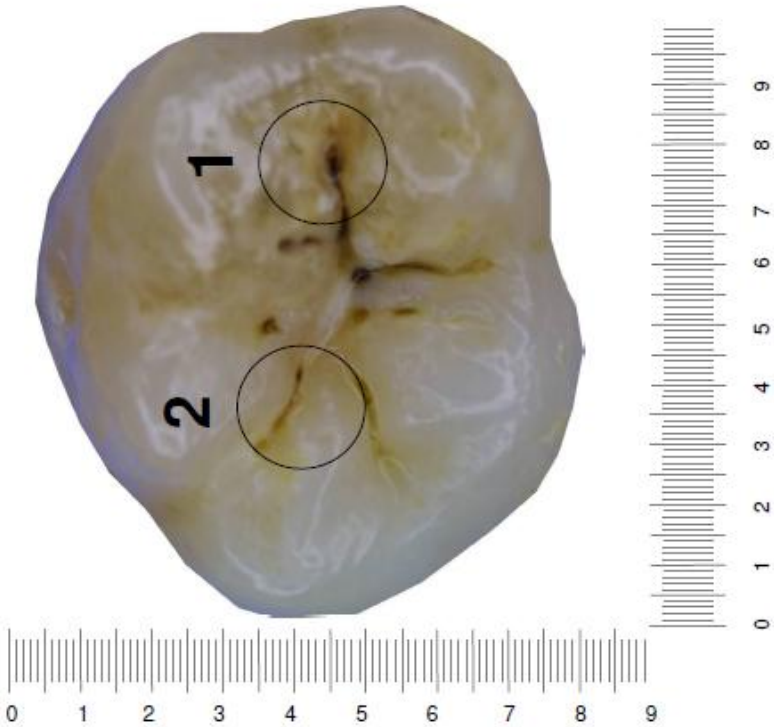
219. Yang J, Dutra V: Utility of radiology, laser fluorescence, and transillumination. *Dent Clin North Am* 49, 739–752 (2005).
220. Young DA, Featherstone JD: Digital imaging fiber-optic trans-illumination, F-speed radiographic film and depth of approximal lesions. *J Am Dent Assoc* 136, 1682-1687 (2005).
221. Young SM, Lee JT, Hodges RJ, Chang TL, Elashoff DA, White SC: A comparative study of high-resolution cone beam computed tomography and charge-coupled device sensors for detecting caries. *Dentomaxillofac Radiol.* 38, 445-451 (2009).
222. Zandona AG, Al-Shiha S, Eggertsson H, Eckert G: Student versus faculty performance using a new visual criteria for the detection of caries on occlusal surfaces: an in vitro examination with histological validation. *Oper Dent* 34, 598-604 (2009).
223. Zöller JE: Digitale Volumentomografie in der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde. Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin 2007.

9 Anhang

Anhang I: Dokumentationsbogen für die visuellen Untersuchungen

Dokumentationsbogen  
für die extrahierten Zähne

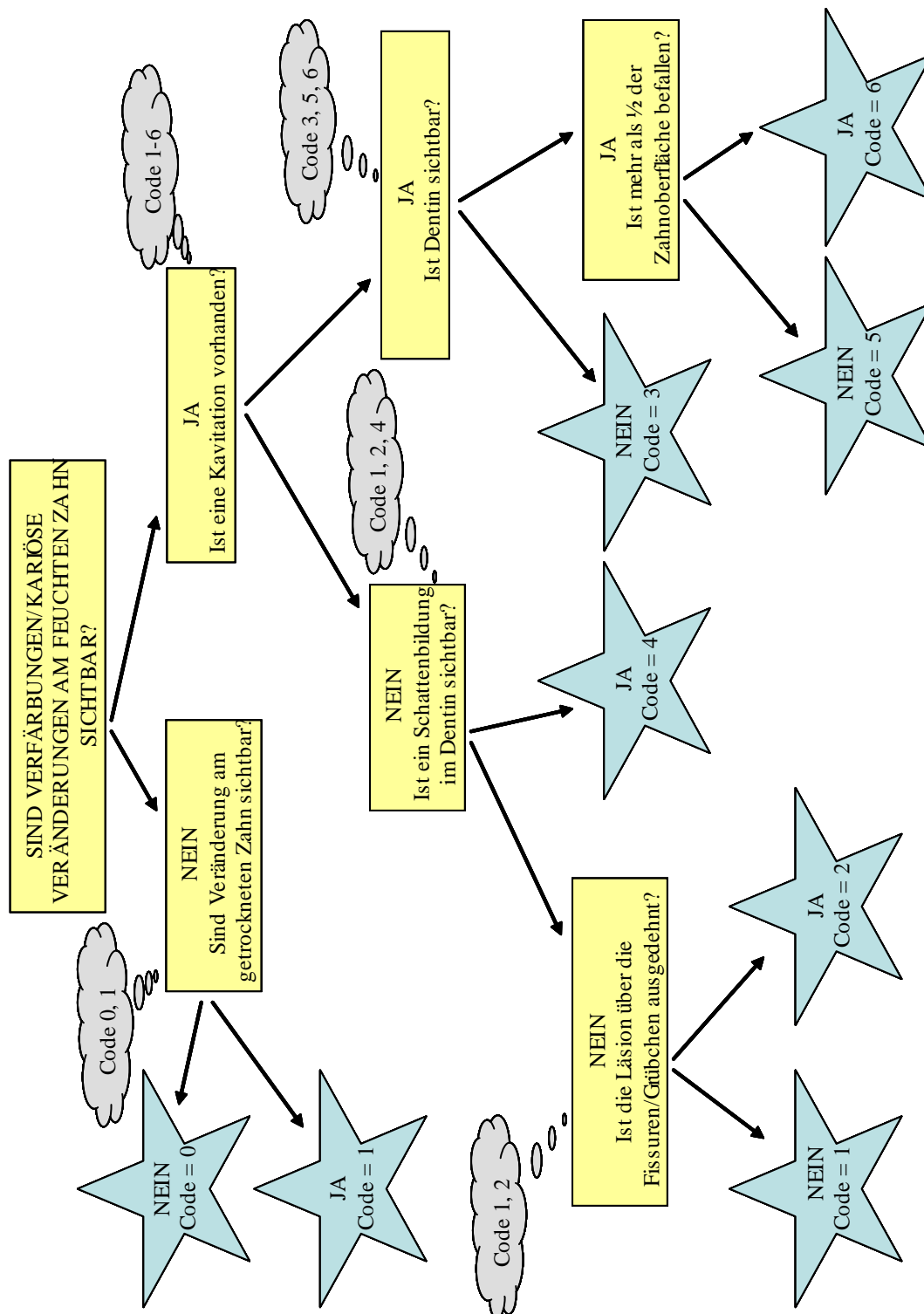
Name des Untersuchers:  
Zahn: 43



|            |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |
|------------|---|---|---|---|---|---|---|--|--|--|--|--|
| Messpunkt: |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |
| 1          |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |
|            | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |  |  |  |  |  |
| Messpunkt: |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |
| 2          |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |
|            | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |  |  |  |  |  |
| Messpunkt: |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |
| 3          |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |
|            | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |  |  |  |  |  |
| Messpunkt: |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |
| 4          |   |   |   |   |   |   |   |  |  |  |  |  |
|            | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |  |  |  |  |  |

## Anhang II: Diagnoseschema des ICDAS-II (Deutsche Version)

Quelle: International Caries Detection and Assessment System (ICDAS) Coordinating Committee. Criteria Manual, Appendix. Baltimore, Maryland, 2005



**Anhang III: Dokumentationstabelle für die Röntgenscores**  
**(jeweils getrennt für analoge und digitale Röntgenbilder)**

| <b>Zahn Nr. 1</b> | <b>Röntgenscore<br/>analog</b> |
|-------------------|--------------------------------|
| <b>Messpunkte</b> |                                |
| 1                 |                                |
| 2                 |                                |
| 3                 |                                |
| 4                 |                                |

| <b>Zahn Nr. 1</b> | <b>Röntgenscore<br/>digital</b> |
|-------------------|---------------------------------|
| <b>Messpunkte</b> |                                 |
| 1                 |                                 |
| 2                 |                                 |
| 3                 |                                 |
| 4                 |                                 |



## Anhang IV: Protokollblatt zur Dokumentation der Entwässerungs- und Infiltrationsreihe für die Zahnkronen

Med. Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Philipps-Universität Marburg; Abt. Zahnerhaltung, Direktor: Prof. Dr. V. Stachniss

File: Maske\_HST\_AlkoholreiheInfiltration\_216-02-05  
c:\ab0\Hartschnitt\_Par-Zahn-Aufbereitung\_216-07-04.xls

### Dokumentation zur Hartschnitt-Aufbereitung von Zähnen klinischer Fälle

PatientIn  Aufkleberbild

Überweisender Behandler

Zahn #

Datum =

Probennummer - Muster

P# 2008-MM-TT

P# 2008 - 0

Vorbehandlung Zustand nach:

Extraktionsgrund

Re-Bilder:

Datum: digital/analog

vor WF

nach WF

vor Extraktion

nach Extraktion

gewünschte

Format der

Objektträger

(Standard)

(groß / schneller)

75x25x2 mm

100x60x2 mm

Zahnlänge

in mm

gewünschte

Dicke der

Schnitte

in µm

Entwässerungsreihe

| Alkohol %     | 40 % | 60 % | 80 % | 100 % | 100 % |
|---------------|------|------|------|-------|-------|
| Stunden soll  | 12   | 12   | 12   | 12    | 12    |
| Datum         |      |      |      |       |       |
| Stunden Start |      |      |      |       |       |
| Stunden Ende  |      |      |      |       |       |
| Aufhänger     |      |      |      |       |       |

Präinfiltration: Alkohol/Technovit 1:1

Infiltration: Technovit 7200

Vakuum:

Vorpolymersisation: UV-A-Licht

min. 4 h

norm. 10 h

Werkstoffe

Fa. Kultar

Fa. Voss

ZT- PMMA

Polyester GH

Technovit 7200

Einbettung

Formteile

zur

Einbettung

Acrylnitril-Konus

Acrylnitril

10 ml

12 ml

Spritze

Spritze

Eiswasser

Druck

Vorschub zur Dreiteilung des Zahnes: (Zahnlänge in mm minus) / 3

Vorschub zur seriell-parallelen Auftrennung in 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30 Schnittebenen

Die Aufbereitung

ausgeführt:

Unterschrift + Datum

Frau Schäfer

Frau Grimmelwein

Prof. Stachniss

N.N.

Vorschub V0 =

in µm

Vorschub V1 =

in µm

V1 - Defaultwert für 200µm D64 Band

100µm D48 Band

700 µm

450 µm

Reprotechnik Name:

digitale Makro-Repros:

Zustand wie angeliefert

Schnittebenen #:

Präparate archiviert

Präp.-Kasten # von-bis

Daten gespeichert wo:

Pfad & Filename:

m | o | d | a | m | a | s | k | e |

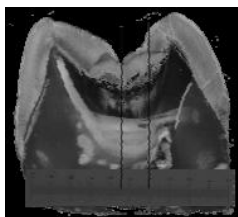
2 | 1 | 6 | - | 0 | 2 | - | 0 | 5 |

2 | 1 | 6 | - | 0 | 7 | - | 0 | 4 | . | x | l | s |

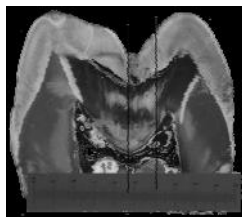
## Anhang V: Dokumentationsblatt zur Herstellung der Zahnhartschnitte

|    | A   | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1  | Schneideprotokoll 3er-Platte 2k8-02-04.xls  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 2  | Schneideprotokoll für die Herstellung histologische Hartschnitte/Schliffe   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 3  | Projekt:  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 4  | Proben #:   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 5  | Default-Wert  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 6  | berechnet aus Verlaufskontrollen  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 7  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 8  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 9  | Algorithmus: $\text{Vorschub} = \text{Band-Verschnitt} + \text{Block-Handschnitt} + \text{Präparat-Handschnitt} + \text{Präparatdicke}$ |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 10 | Beispiele in $\mu\text{m}$  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 11 | 680 420 65 45 150 (netto, d.h. ohne die 25 $\mu\text{m}$ Kleberschicht)   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 12 | Vorschub  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 13 | Default-Wert:   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 14 | 680 + - 20 $\mu\text{m}$  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 15 | Datum & Uhrzeit   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 16 | Schnitt #   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 17 | Bandgeschwindigkeit   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 18 | Schneidhöhe max. # 1,5  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 19 | Überflusenergie bis # 5   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 20 | 1   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 21 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 22 | 2   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 23 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 24 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 25 | 3   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 26 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 27 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 28 | 4   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 29 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 30 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 31 | 5   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 32 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 33 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 34 | 6   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 35 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 36 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 37 | 7   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 38 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 39 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |

**Anhang VI: Dokumentationsbogen für die histologischen Untersuchungen**  
**(Die zu beurteilende Stelle des Zahnhartschnittes ist durch die Linien eingegrenzt)**

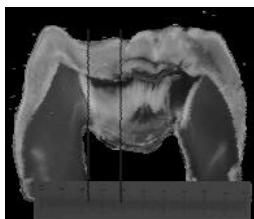


035/Ebene 4

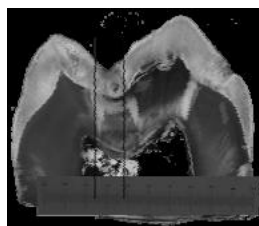


035/Ebene 5

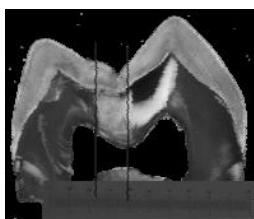
| <b>Zahn 35</b>                    | <b>Klassifikation nach Downer [1975]</b> |
|-----------------------------------|--|
| <b>Messpunkt<br/>1<br/>Ebenen</b> |  |
| 4                                 |  |
| 5                                 |  |
| gesamt                            |  |



035/Ebene 6



035/Ebene 7



035/ Ebene 8

| <b>Zahn 35</b>                    | <b>Klassifikation nach Downer [1975]</b> |
|-----------------------------------|--|
| <b>Messpunkt<br/>2<br/>Ebenen</b> |  |
| 6                                 |  |
| 7                                 |  |
| 8                                 |  |
| gesamt                            |  |

## 10 Abkürzungsverzeichnis

|                |  |
|----------------|--|
| °C             | Grad Celsius   |
| µm             | Mikrometer   |
| Abb.           | Abbildung  |
| ACIST          | Alternating Current Impedance Spectroscopy Technique       |
| ADEE           | Association for Dental Education in Europe                 |
| AUC            | Area Under the Curve                                       |
| AUROC          | Area Under ROC curve                                       |
| bzw.           | beziehungsweise  |
| ca.            | circa  |
| CCD            | Charged Couple Device                                      |
| CBCT           | Cone Beam Computer Tomography                              |
| CLSM           | Confocal Laser Scanning Microscope                         |
| CMOS           | Complementary Metal Oxide Semiconductor                    |
| D1             | Karies auf Dentin- und Schmelz-Ebene                       |
| D3             | Karies auf Dentin-Ebene                                    |
| d.h.           | das heißt  |
| DAJ            | Deutsche Arbeitsgemeinschaft für Jugendzahnpflege          |
| DIFOTI         | Digitale Faseroptische Transillumination                   |
| DSTM           | Dundee Selectable Threshold Method of Caries Diagnosis     |
| DVT            | Digitale Volumentomographie                                |
| ECM            | Electronic Caries Monitor                                  |
| etc.           | et cetera  |
| et al.         | et alteri (und andere)                                     |
| e.V.           | eingetragener Verein                                       |
| F <sup>-</sup> | Fluoridierung  |
| FOTI           | Faseroptische Transillumination                            |
| ggf.           | gegebenenfalls   |
| GmbH           | Gesellschaft mit begrenzter Haftung                        |
| ICC            | Interclass Correlation Coefficient                         |
| ICDAS          | International Caries Detection and Assessment System       |
| ICW-CCT        | International Consensus Workshop on Caries Clinical Trials |
| κ              | Kappa  |
| KI             | Konfidenzintervall   |

|                |   |
|----------------|---|
| kV             | Kilovolt                                    |
| min.           | Minuten                                     |
| ML             | Messlänge                                   |
| mA             | Milliampere                                 |
| ml             | Milliliter                                  |
| mm             | Millimeter                                  |
| ms             | Millisekunde                                |
| µm             | Mikrometer                                  |
| NaOCL          | Natriumhypochlorit                          |
| nm             | Nanometer                                   |
| ORCA           | European Organisation for Caries Research   |
| PhD            | Doctor of Philosophy                        |
| PSP            | Phosphor Storage Plate                      |
| QLF            | Quantitative lichtinduzierte Fluoreszenz    |
| resp.          | respectively                                |
| ROC            | Receiver Operating Characteristics          |
| r <sub>s</sub> | Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman   |
| s              | Sekunden                                    |
| SGB V          | Sozialgesetzbuch V                          |
| SE             | Sensitivität                                |
| SP             | Spezifität                                  |
| SPSS           | Statistical Package for the Social Sciences |
| Std.           | Stunden                                     |
| Tab.           | Tabelle                                     |
| TMR            | Transversale Mikroradiographie              |
| tan            | Tangens                                     |
| WHO            | World Health Organisation                   |
| z. B.          | zum Beispiel                                |

## **11 Materialliste**

Untenstehend folgt eine Auflistung der in der Studie verwendeten Materialien.

### **11.1 Materialien zur Reinigung und Lagerung der Zähne**

- Sonicflex paro Nr.60, KaVo, Biberach
- Prophyflex 2 2012, KaVo, Biberach
- Natriumbikarbonat Reinigungspulver, KaVo, Biberach
- Miniatur-Zahnreinigungsbürstchen, Pluradent, Offenbach
- Zircate Prophy Paste, Densply Detrey, Konstanz
- Super Polish, Kerr Hawe SA, Bioggio, Schweiz
- Thymol krist. reinst., Merck, Darmstadt

### **11.2 Materialien zur Fotodokumentation und Bildbetrachtung**

- Digitale Kamera: Canon EOS D 30, Brenner Foto Versand, Weiden
- Glasmaßstab, Leitz, Wetzlar
- 18-Zoll-TFT-Farbmonitor: FlexScan L 768, EIZO, Avnet Technology Solutions GmbH, Nettetal

### **11.3 Materialien für die Röntgenuntersuchungen**

- Miniaturstahlkugel, Durchmesser 1,57mm, GRW, Würzburg
- Sekundenkleber Pattex, Henkel, Düsseldorf
- Kodak Insight IP-21 Einzelfilme, Größe 3x4cm, Stuttgart
- Röntgenstrahler Oralix AC, Gendex, Hamburg
- Beauty Pink Dental Wax: Moyco-Union Broach, über: Quality First International Limited, Großbritannien
- Entwicklungsautomat AC 245L, Dürr-Dental, Bietigheim-Bissingen
- Röntgenbetrachter, Dentsply, Rinn Co., Elgin, USA
- Digora-Speicherfolien, Gendex, Hamburg
- Oralix 65, Phillips Gendex, Hamburg
- Scanner: Digora Optine, Gendex, Hamburg

**11.4 Labormaterialien**

- Alkohol 40%, 60%, 80%, 100%, Merck, Darmstadt
- Technovit 7200 VLC, Heraeus Kulzer, Wehrheim
- Technovit 7210 VLC, Heraeus Kulzer, Wehrheim
- Histolux, Kulzer Exakt, Wehrheim
- IbiClear PVC, 0,2mm, Ibico, USA
- Acrylglas Halbzeuge, Krüger, Hamburg
- Diamantband-Säge, Exakt, Hamburg
- Carborundum Schleifpapier, Hermes, Hamburg
- Mineralgläschen, Menzel, Braunschweig
- Stereo- Makroskop M 420, Wild Heerbrugg AG, Schweiz

## **12 Verzeichnis akademischer Lehrer**

Meine akademischen Lehrer in Marburg waren die folgenden Damen und Herren:

Adamkiewicz, Aumüller, Austermann, Cetin, Coca, Dibbets, Feuser, Flores-de-Jacoby, Gente, Hasilik, Höffken, Jablonski-Momeni, Koolmann, Lehmann, Lill, Löffler, Lotzmann, Mengel, Mandrek, Mengel, Mittag, Pieper, Radsak, Ramaswamy, Röhm, Seitz, Stachniss, Steiniger, Stoll, Sundermeyer, Weihe, Wennemut, Werner.



## **13 Danksagung**

Ganz besonders herzlich möchte ich mich bei Frau Prof. Dr. Anahita Jablonski-Momeni bedanken für die Bereitstellung des Themas und für die unermüdliche Betreuung und schnelle Bearbeitung von Fragen und Korrekturen.

Weiterhin danke ich Frau Monika Heinzl-Gutenbrunner für die Mithilfe bei der statistischen Auswertung.

Der größte Dank gebührt meiner gesamten Familie für ihre liebevolle Unterstützung sowohl während meines Studiums als auch bei der Dissertationsarbeit.

Ich danke besonders meiner Schwester Sibel für die Aufmunterung, Unterstützung und Korrektur.

Ein großes Dankeschön an meinen Mann Tarek für die Hilfe bei der Übersetzung ins Englische und an meine Schwester Sevda für das abschließende Korrekturlesen.

Zum Schluss danke ich meiner Tochter Nur und meinem Mann für ihre Geduld, die sie während meiner Dissertation aufbringen mussten.